



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de
feldespato en la mina Rosario II, Limón Indanza - Morona Santiago”**

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

Autor:

BRAYAN ONIL BRAVO MALDONADO

Director:

ING. LEONARDO NÚÑEZ RODAS

CUENCA - ECUADOR

2024

DEDICATORIA

A mi hija Brianna Zulay, a quien amo con todo mi corazón y por quien cada día trato de seguir adelante y sobre todo fue el motivo que me llevo a continuar día a día mis estudios.

A mi padre Onil Bravo, quien desde el cielo me guía y cuida en cada momento, sé que en cielo estará feliz de verme triunfar.

A mi madre Celia Maldonado, quien fue el pilar fundamental para solventar mis estudios, pues sin ella no hubiera sido posible este gran logro.

A mi pareja Karen Mendieta, quien todos los días me brindaba su amor, lo que me permitía tener la estabilidad emocional que necesitaba cada día para seguir adelante.

A mis hermanas Nataly, Ana, María y Tabita quienes cada fin de semana insertaban en mí el coraje que nos caracteriza para luchar y terminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los profesores de la Universidad del Azuay, quienes me transmitieron sus conocimientos y me formaron para mi vida profesional, al Ing. Patricio Feijoo, al Ing. Eduardo Luna quienes me apoyaron con cada uno de sus conocimientos técnicos y de manera especial a mi tutor al Ing. Leonardo Núñez quien me guió y aportó en este gran proyecto.

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO PARA
EXTRACCIÓN DE FELDESPATO EN LA MINA ROSARIO II, LIMÓN INDANZA -
MORONA SANTIAGO”**

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar una propuesta de diseño de explotación para la extracción de feldespatos en la Mina Rosario II. Esta propuesta fue elaborada con algunos estudios geotécnicos realizados por la empresa minera que permitieron seleccionar el tipo de diseño de explotación que mejor se adaptó a las condiciones del terreno, teniendo así un diseño a cielo abierto con un sistema de bancos descendentes. Además, se procedió a calcular la profundidad de la cantera, altura, número de bancos, ángulos de talud, entre otros. También se calcularon dos factores de seguridad utilizando diferentes ábacos siendo el uno de 1.89 y el otro de 2.20. Estos valores permitieron determinar que un ángulo de 57° proporciona estabilidad al talud. Finalmente se procedió a realizar un análisis económico para determinar su rentabilidad.

Palabras claves: Sistema de explotación, diseño de explotación, cielo abierto, geotecnia, factor de seguridad.



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Director del Trabajo de Titulación

**"PROPOSAL FOR OPEN-PIT MINING DESIGN FOR FELDSPAR
EXTRACTION IN ROSARIO II MINE, LIMÓN INDANZA - MORONA
SANTIAGO"**

ABSTRACT

The objective of this work was to propose a mining design for feldspar extraction in Rosario II Mine. This proposal was developed based on some geotechnical studies conducted by the mining company, which allowed for the selection of the type of mining design that best suited the terrain conditions, resulting in an open-pit design with a descending bench system. Additionally, the quarry depth, height, number of benches, slope angles, among other factors, were calculated. Two safety factors were also calculated using different charts, one being 1.89 and the other 2.20. These values allowed determining that a 57° angle provides stability to the slope. Finally, an economic analysis was conducted to determine its profitability.

Keywords: Mining system, mining design, open-pit, geotechnics, safety factor.



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Thesis Director

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO 1	17
ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO	17
1. Antecedentes generales	17
1.1. Descripción de la zona de estudio	17
1.2. Datos generales	17
1.3. Vías de acceso	18
1.4. Ubicación geográfica.....	19
1.5. Levantamiento topográfico	21
1.6. Geología	22
1.6.1. Geología regional	22
1.7. Marco teórico	26
1.7.1. Minería	26
1.7.2. Minería a cielo abierto.....	27
1.7.3. Operaciones unitarias aplicadas en un proceso minero.....	27
1.7.4. Cantera	29
1.7.5. Explotación de canteras.....	29

1.7.6.	Parámetros geométricos de una cantera	30
1.7.7.	Estabilidad de taludes.....	32
1.7.8.	Seguridad de taludes.....	33
1.7.8.1.	Tipos de ábacos utilizados para determinar el factor de seguridad	34
1.7.9.	Recomendaciones para el control y eliminación de riesgos en taludes 36	
1.7.10.	Sistema de explotación.....	37
1.7.11.	Sistemas de arranque.....	37
1.8.	Sísmica de refracción	38
1.8.1.	Método de refracción sísmica	38
1.9.	Clasificación geomecánica de Bieniawski	41
CAPÍTULO 2.....		46
OBTENCIÓN DE DATOS		46
2.	Proceso	46
2.1.	Condición de Calicatas.....	46
2.1.1.	Detalle de las calicatas de tipo PCA.....	46
2.2.	Ensayo sísmico de refracción.....	48
CAPÍTULO 3.....		57
DISEÑO DE EXPLOTACIÓN.....		57
3.	Proceso	57
3.1.	Sistema de explotación.....	57
3.2.	Profundidad de la cantera.....	57
3.3.	Diseño de explotación	58
3.3.1.	Altura de banco	58
3.3.2.	Ángulo de talud de los bancos.....	58
3.3.3.	Número de bancos.....	61

3.3.4.	Plataforma de trabajo	61
3.3.5.	Bermas finales o de resguardo	63
3.3.6.	Cunetas de desagüe	63
3.4.1.	Primera Fase.....	64
3.4.2.	Fase 2	65
3.4.3.	Fase 3	66
3.4.4.	Fase 4	67
3.4.5.	Fase 5	68
3.4.6.	Fase 6	69
CAPÍTULO 4.....		72
ANÁLISIS DE RESULTADOS		72
4.	Proceso	72
4.1.	Resultados obtenidos en el proceso del diseño de explotación.....	72
4.1.1.	Parámetros del diseño de explotación	73
4.2.	Vida útil de la cantera.....	74
4.2.1.	Días laborables al año:	74
4.2.2.	Volumen de extracción.....	74
4.3.	Dimensionamiento de la maquinaria.....	76
4.3.1.	Maquinaria de arranque.....	76
4.3.2.	Maquinaria de arranque.....	77
4.3.3.	Maquinaria de carguío.....	79
4.4.	Requerimientos de personal	80
Capítulo 5.....		81
FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....		81

5.1. Egresos	81
5.1.1 Costos de producción	81
5.1.2 Gastos.....	83
5.1.3 Egresos totales.....	84
5.2 Ingresos	84
5.2.1 Precio de venta de material	84
5.3 Rentabilidad económica	85
5.4 Flujo de caja	85
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vía de acceso a la concesión	19
Figura 2. Ubicación de la concesión minera "Rosario II"	20
Figura 3. levantamiento topográfico	22
Figura 4. Geología regional del cantón Limón Indanza.	23
Figura 5. Geología de la zona de estudio	26
Figura 6. Sistemas operativos.	27
Figura 7. Sistema operativo de un proceso minero.	29
Figura 8. Método de explotación a cielo abierto.	32
Figura 9. Características de condiciones de flujo de agua para la selección de ábacos	33
Figura 10. Ábaco N°1 usado en talud seco - completamente drenado.	34
Figura 11. Ábaco N°2 usado en una salida del agua a 1/8 de la altura del talud	34
Figura 12. Ábaco N°3 usado con salida del agua a 1/4 de la altura del talud	35
Figura 13. Ábaco N°4 usado con salida del agua a 1/4 de la altura del talud.	35
Figura 14. Ábaco N°5 usado en talud completamente saturado con recarga superficial continuada.	36
Figura 15. Sistemas de arranque	38
Figura 16. Aplicación del ensayo de sísmica de refracción.	39
Figura 17. Esquema básico de la emisión y trayectoria de los rayos reflejados en 3 capas reflectoras	40

Figura 18. Esquema de los equipos utilizados en el ensayo de sísmica de refracción	40
Figura 19. Ejemplo de testigo y determinación del RQD.	42
Figura 20. Clasificación R.Q.D	43
Figura 21. Valoración para determinar las condiciones de las discontinuidades del macizo rocoso	44
Figura 22. Valoración para determinar las condiciones hidrológicas del macizo rocoso.	45
Figura 23. Perfil LS-1, Ondas Primarias.	49
Figura 24. Perfil LS-2, Ondas Primarias.	50
Figura 25. Perfil LS-3, Ondas Primarias.	50
Figura 26. Envolvente de falla, ensayo de corte directo.	51
Figura 27. Perfil geológico.	55
Figura 28. Factor de seguridad analizado en el ábaco N°2.	59
Figura 29. Factor de seguridad analizado en el ábaco N°5.	60
Figura 30. Dimensiones de las cunetas de desagüe.	63
Figura 31. Primera fase de explotación.	65
Figura 32. Segunda fase de explotación.	66
Figura 33. Tercera fase de explotación	67
Figura 34. Cuarta fase de explotación.	68
Figura 35. Quinta fase de explotación.	69
Figura 36. Sexta fase de explotación.	70

Figura 37. Grafica sobre la explotación total del proyecto	71
Figura 38. Dimensiones del diseño de explotación para el proyecto “Rosario II”	73
Figura 39. Grafica de valores representando el volumen y el tiempo de extracción de material de cada fase.	76
Figura 40. Descripción de la técnica maquinaria de arranque.	77
Figura 41. Tractor de orugas	77
Figura 42. Maquinaria de arranque y carguío.	78
Figura 43. Descripción de la técnica maquinaria de carguío	79
Figura 44. Maquinaria de carguío.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos generales de la concesión minería Rosario II.	18
Tabla 2. Coordenadas geográficas de la concesión minera "Rosario II"	20
Tabla 3. Puntos de control realizados para el levantamiento topográfico	21
Tabla 4. Clasificación de la roca según la RCS	41
Tabla 5. Datos del estudio geotécnico y geológico de la mina "Rosario II".	47
Tabla 6. Parámetros de Clasificación	52
Tabla 7. Cohesión y ángulo de fricción interna del macizo rocos	54
Tabla 8. Parámetros geotécnicos para los tres diferentes materiales presentes en la zona de estudio.	56
Tabla 9. Descripción de los parámetros de la estabilidad de talud – Ábaco N° 2.	59
Tabla 10. Descripción de los parámetros de la estabilidad de talud – Ábaco N° 5.	60
Tabla 11. Resumen del volumen de extracción de las 6 fases.	71
Tabla 12. Datos obtenidos para el diseño de explotación del proyecto minero “Rosario II”	72
Tabla 13. Parámetros para la estimación del volumen de extracción	74
Tabla 14. Resumen de extracción por fases del proyecto minero.	75
Tabla 15. Descripción de la técnica maquinaria de arranque y carguío.	78
Tabla 16. Costos de mantenimiento de la maquinaria.	82

Tabla 17. Egresos salariales del personal de trabajo	83
Tabla 18. Costo total de las instalaciones involucradas en el proyecto minero.	84
Tabla 19. Egreso total del proyecto minero	84
Tabla 20. Precio de venta del material extraído del proyecto minero	85
Tabla 21. Flujo de caja económico del proyecto minero “Rosario II”	86

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento topográfico de la mina “Rosario II”	85
Anexo 2. Zona de estudio	86
Anexo 3. Área de intervención	87
Anexo 4. Cortes para determinar el cálculo de reservas	88
Anexo 5. Fases a explotar	89
Anexo 6. Características del diseño de explotación	91
Anexo 7. Geotecnia	92
Anexo 8. Resultados de laboratorio	93
Anexo 9. Clasificación RMR	95
Anexo 10. Análisis y determinación de parámetros geotécnicos	97
Anexo 11. Identificación de la zona sísmica	101

Brayan Onil Bravo Maldonado

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Febrero, 2024

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO PARA
EXTRACCIÓN DE FELDESPATO EN LA MINA ROSARIO II, LIMÓN
INDANZA - MORONA SANTIAGO”**

INTRODUCCIÓN

La explotación de minas de feldespato es un recurso de gran beneficio para la sociedad; pues el desarrollo de estas actividades generan un ingreso económico y la apertura de plazas de trabajo para las familias, permitiendo un desarrollo económico del mismo; sin embargo, para que exista un adecuado desarrollo y a la vez un respeto por la ecología que se desarrollan en la zona de actividad; es necesario que se cree un diseño de explotación de la mina para determinar el beneficio no solo de rubros económicos sino también de sostenibilidad ambiental e inclusive de afectación a largo plazo.

No obstante, hay que tener en cuenta siempre las características de las zonas donde se realizarán los proyectos de explotación puesto que la elección de un método de explotación de un yacimiento mineral se basa principalmente en la inversión económica que se deberá realizar y las ganancias que se obtendrán; para lo cual, es fundamental determinar las características de la zona, que determinarán la factibilidad del desarrollo de explotación minera en tal localidad (Soria, 2016)

Es ante ello que, esta investigación analizó los múltiples factores del yacimiento como: ubicación, extensión territorial, forma de los lotes donde se realizarán las actividades, topografía superficial, profundidad del cuerpo mineral, el tipo de mineral a ser extraído, la complejidad y la calidad de los minerales obtenerse, características del

material macizo rocoso, la cantidad de información que se tiene acerca de la localidad de reservas en cuanto a la calidad, inversiones asociadas con el proyecto a desarrollarse, el tipo de tierras que servirán para esta actividad información que será obtenida y recolectada, previo al desarrollo de actividades (Zambrano, 2016).

De igual forma, es importante tomar en cuenta la elección que determinarán las políticas, necesidades y recursos que disponga la empresa interesada en realizar dicha actividad, pues deben estar sujetos a cumplir con la normativa no solo nacional sino de la misma localidad.

Ante lo expuesto, es claro que, el desarrollo del presente estudio tiene gran importancia para la empresa como para la comunidad, obteniendo un diseño de explotación adecuado tanto para conocer las reservas, el tiempo de explotación y la confianza de la comunidad en que el impacto visual será mínimo y controlado.

Por lo que, se determinó los distintos estándares técnicos operativos que considerarían el diseño de explotación en las operaciones minero-extractivas que se realiza en esta localidad de estudio.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES Y MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes generales

1.1. Descripción de la zona de estudio

La concesión minera Rosario II se encuentra ubicada en la provincia de Morona Santiago dentro de la jurisdicción político-administrativa del cantón Limón Indanza dentro de la parroquia Yunganza – El Rosario.

La concesión minera “Rosario II” con código 100217.1 posee como mineral de interés el feldespato, con una superficie de 29 ha, la cual fue inscrita el 24 de octubre del 2001.

1.2. Datos generales

En la siguiente tabla se describen las principales características de la concesión minera “**Rosario II**” que pertenece a la empresa EXPLOSUR C.A.

Tabla 1.*Datos generales de la concesión minería Rosario II.*

FICHA TÉCNICA	
Concesión minera	Rosario II
Código catastral	100217.1
Concesionario	Explosor C.A
Fecha de inscripción	24/10/2001
Estado actual	Inscrita
CARACTERÍSTICAS	
Mineral de interés	Feldespató
Tipo de mineral	No Metálico
Régimen	Pequeña Minería
Superficie	29 ha
Fase	Exploración - Explotación
Método de explotación	Cielo Abierto
UBICACIÓN	
Provincia	Morona Santiago
Cantón	Limón Indanza
Parroquia	Yunganza El Rosario

Fuente: Elaboración propia.**1.3. Vías de acceso**

El acceso principal a la concesión “Rosario II” se realiza por una vía terrestre de primer orden desde el cantón Limón Indanza hasta el sector El Rosario aproximadamente a 10 min de la cabecera cantonal, con un recorrido de 8 kilómetros hasta llegar al campamento que está ubicado junto a la vía a mano derecha, y a mano izquierda encontramos el acceso al frente de trabajo.

Figura 1

Vía de acceso a la concesión



Fuente: Elaboración propia

1.4. Ubicación geográfica

La concesión minera “Rosario II”, con código catastral 100217.1, se encuentra ubicada en la parroquia Yunganza, sector El Rosario, cantón Limón Indanza, provincia Morona Santiago, con coordenadas de referencia UTM (WGS 84, 17 S) 788652,17 E y 9677082, 07 N. Las coordenadas que limitan la concesión se encuentran en dos referencias geográficas que son PSAD 56 y WGS84.

Tabla 2.

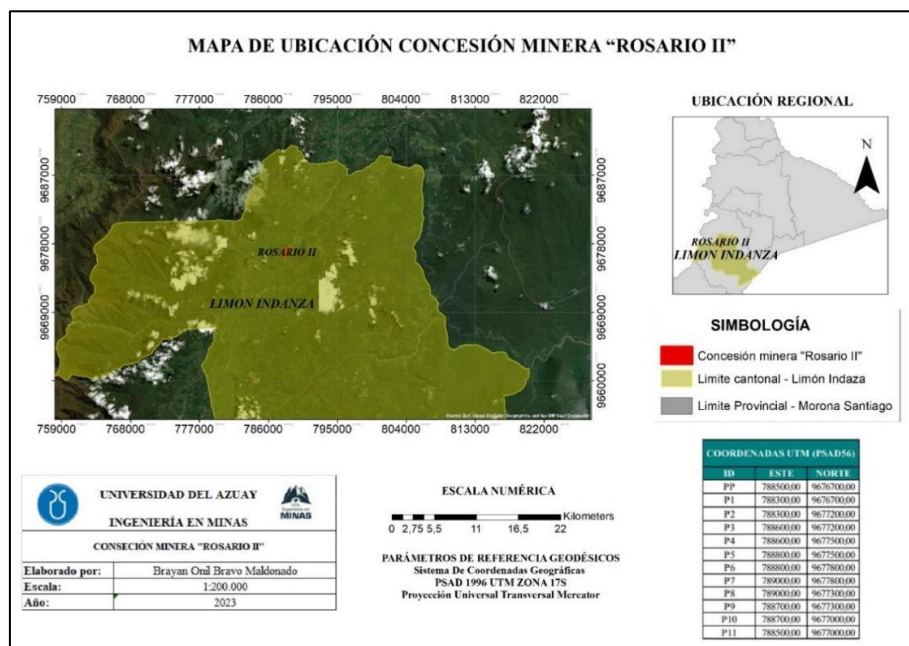
Coordenadas geográficas de la concesión minera "Rosario II"

Coordenadas UTMA (PSAD 56)			Coordenadas UTMA (WGS84)		
ID	ESTE	NORTE	ID	ESTE	NORTE
PP	788500,00	9676700,00	PP	788240,66	9676325,94
P1	788300,00	9676700,00	P1	788040,66	9676325,94
P2	788300,00	9677200,00	P2	788040,66	9676825,94
P3	788600,00	9677200,00	P3	788340,66	9676825,94
P4	788600,00	9677500,00	P4	788340,66	9677125,94
P5	788800,00	9677500,00	P5	788540,66	9677125,94
P6	788800,00	9677800,00	P6	788540,66	9677425,94
P7	789000,00	9677800,00	P7	788740,66	9677425,94
P8	789000,00	9677300,00	P8	788740,66	9676925,94
P9	788700,00	9677300,00	P9	788440,66	9676925,94
P10	788700,00	9677000,00	P10	788440,66	9676625,94
P11	788500,00	9677000,00	P11	788240,66	9676625,94

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.

Ubicación de la concesión minera "Rosario II"



Fuente: Elaboración propia.

1.5. Levantamiento topográfico

Los equipos que fueron utilizados para realizar el levantamiento topográfico fueron:

- 1 equipo GNSS de doble frecuencia Marca CHCNAV modelo i90 PRO
- 1 dron de la marca DJI modelo Mavic 2 Pro – Smart Controller

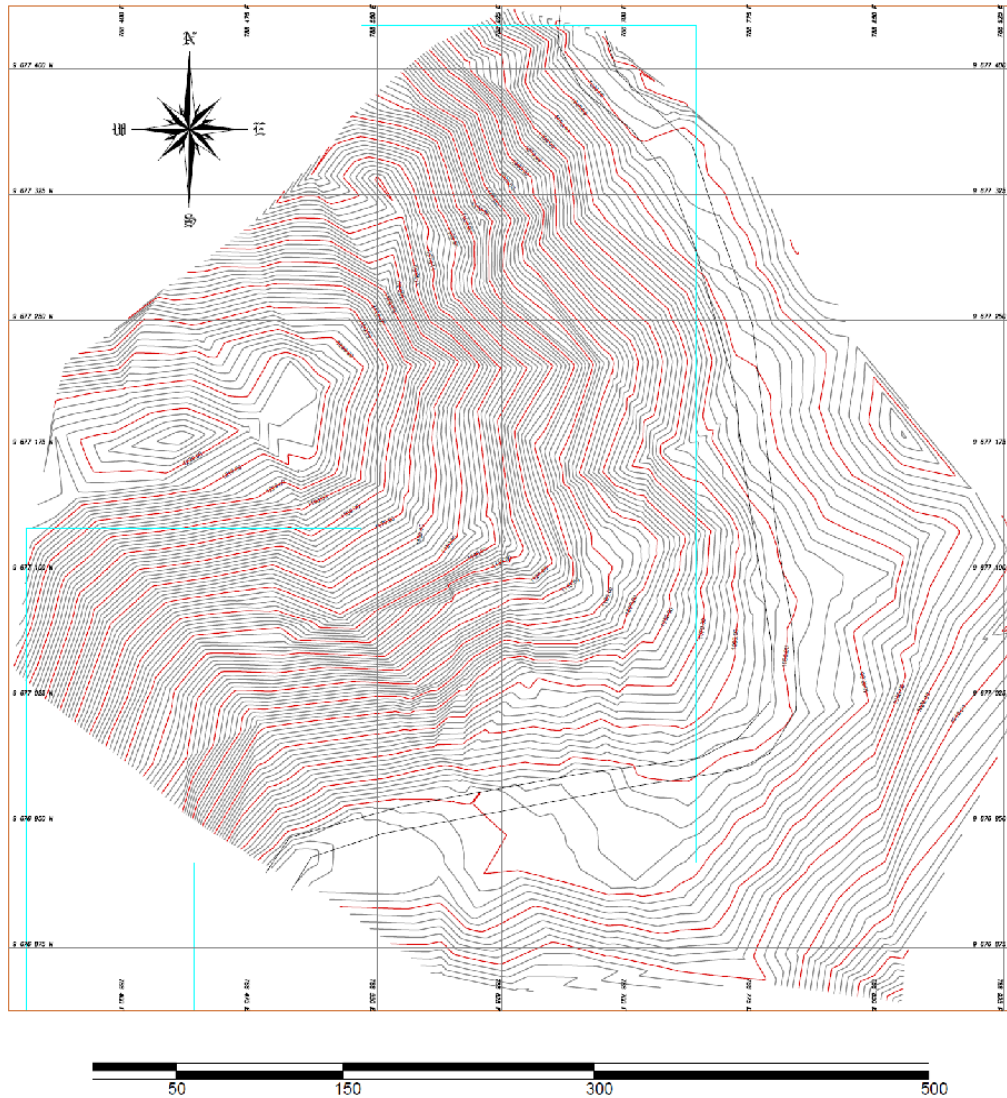
Para la realización del levantamiento se establecieron 5 puntos de control que se pueden observar en la tabla 3.

Tabla 3.

Puntos de control realizados para el levantamiento topográfico

PUNTOS DE CONTROL (WGS 84, 17 S)			
Descripción	Norte (m)	Este (m)	Altura ortométrica (m)
V3	9676998.361	788784.451	1050.01
R1	976982.702	788765.139	1049.523
R2	9677014.425	788781.369	1049.871
V2	9677258.669	788763.445	1037.332
V4	9676960.133	788581.302	1036.54

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.*Levantamiento topográfico***Fuente:** Elaboración propia

1.6. Geología

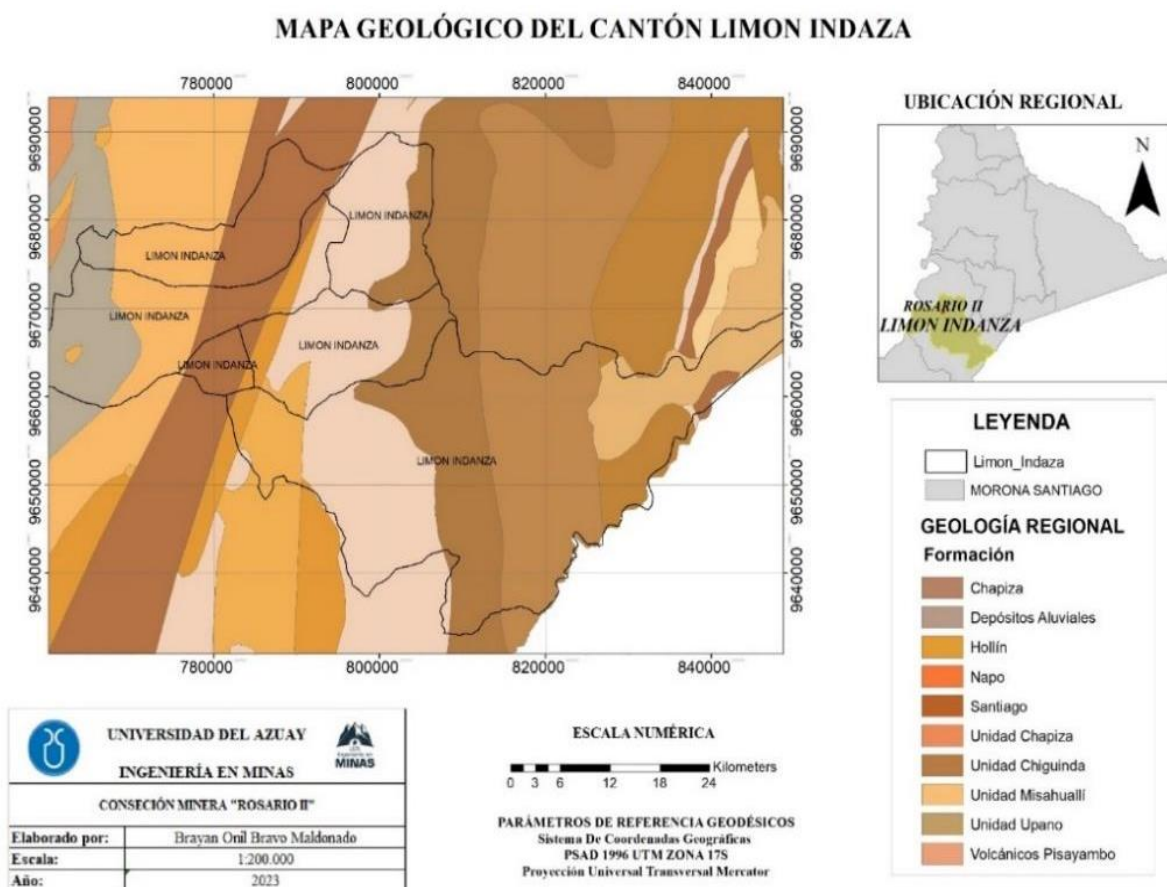
1.6.1. Geología regional

El cantón Limón Indanza, en la cual se encuentra el área de estudio, pertenece a la provincia del Cañar. Esta ciudad es conocida como la “llave de la Amazonia” debido a su privilegiada ubicación, en medio de dos pequeñas cadenas montañosas y cerca al río Yunganza. (Ceron & Olalla, 2015).

Limón Indanza posee una variedad de formaciones tales como la: Formación Chapiza, Hollín, Napo, Santiago, Unidad Chiguinda, Unidad Upano, entre otros. De igual modo, estas formaciones poseen una litología variada, como: Andesita a riolitas, piroclastos; Arcilla, arenas; Caliza, lutitas, areniscas, Esquistos, metalavas, metagrauwacas, etc.

Figura 4.

Geología regional del cantón Limón Indanza.



Fuente: Elaboración propia.

Descripción de las formaciones geológicas

Formación Napo

La formación Napo se caracteriza por poseer una serie de Lutitas intercaladas con carbonatos y areniscas, las cuales contiene un espesor cercano a 500m, y en sus

bases se puede divisar una lumaquela o roca sedimentaria detrítica, con huesos de vertebras de peces, además contiene lutitas negras y fósiles albianos localizados sobre la formación Hollín. Esta formación es una de las más importantes del Oriente Ecuatoriano (Ceron & Olalla, 2015).

La formación Napo se encuentra subdividida en 3 grupos: Napo inferior la cual contiene areniscas, calizas y areniscas cuarzosas con intercalaciones de lutitas negras; Napo medio está formada por calizas mi-críticas y areniscas glauconítica; y el Napo superior contiene lutitas grises oscuras con intercalaciones delgadas de caliza arenosa (Moyano & Moran, 1998).

Formación Hollín

La formación Hollín es aquella que posee una arenisca de grano medio a grueso, con estratificaciones cruzadas, con pocas intercalaciones de lutita arenosa. Esta formación pertenece a un aparte de los reservorios petroleros principales del Oriente y está acompañada por la formación Napo, por el flanco Este se encuentra la Sierra Cutucú, por el Oeste de la misma sierra se encuentra la formación Santiago y en algunos de sus ríos se puede encontrar la formación Misahualli. Los estudios paleontológicos realizados a la formación Hollín determinaron que una de sus partes se encuentra en la base de la edad Aptiana y otra parte data de la edad del Albiano (Guailacela, 2008).

Formación Mera

Es una formación que se basa por contener una litología con areniscas tobáceas, depósitos de abanico fluvial de piedemonte, arcillas que reducen el tamaño de grano, espesor y altitud el cual va de Oeste a Este. su edad se encuentra entre Pleistoceno y Holoceno (Armijos, 2017).

Depósito Coluvial

Un depósito coluvial se define como depósitos de ladera y pie de talud, caracterizada por poseer materiales que han sido transportados a poca distancia. Además, son heterogéneos, esto dependiendo de su zona y del fenómeno inestables que les genero su origen, ya sea desplazamientos, flujos, derrumbes, entre otros. Este depósito se compone de varias mezclas heterogéneas de fragmentos y bloques subangulares y angulares en una matriz limo arcillosa (Vintimilla, 2011)

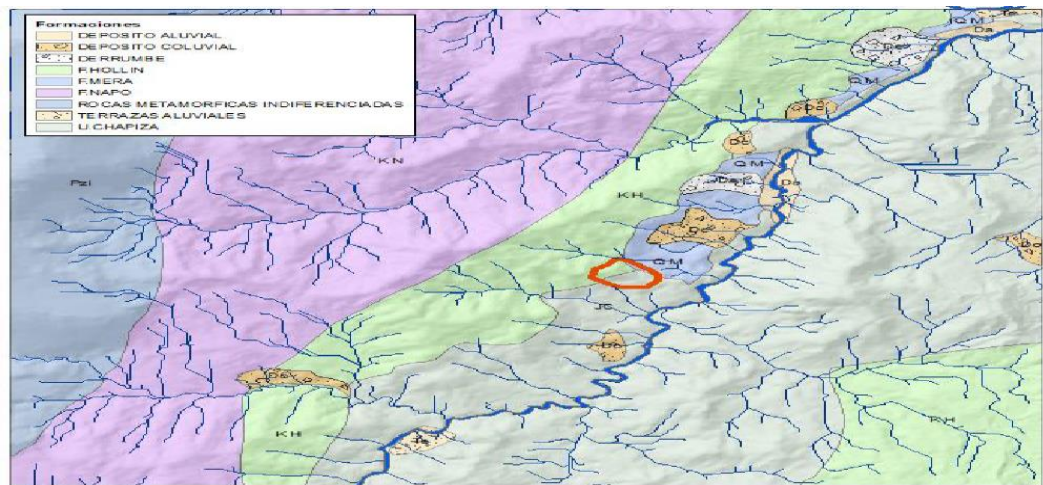
1.6.2. Geología Local

El área de estudio está dentro de la hoja geológica de Méndez, entre las coordenadas UTM (PSAD56) 9 677 500N; 9 677 200S; 788 600E y 789 149W. Además, la concesión El Rosario II se caracteriza por estar dentro de la formación denominada Chapiza.

1.6.2.1. Formación predominante en la zona de estudio

Formación Chapiza

Hace referencia a una serie de sedimentos clásticos, no metamórficos, de bajo buzamiento, originados por la Unidad Misahuallí. Además, de pertenecer a la cordillera Cutucú donde se origina la formación Santiago, en donde se puede encontrar areniscas y pizarras, rosadas y grises con finos horizontes de yeso, dolomitas y anhidrita. Según investigaciones, se ha evidenciado que una parte de la secuencia es equivalente a la formación Santiago (Guailacela, 2008).

Figura 5.*Geología de la zona de estudio***Fuente:** (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020)

1.6.3. Estratigrafía

La estratigrafía del área de estudio se caracteriza por tener dos formaciones en contacto, estas son la formación Hollín y la formación Chapiza, la cual es la formación predominante en la zona de estudio. Según investigaciones, su macizo rocoso se encuentra con diaclasas y rellenos de materiales meteorizados, esto condiciona el comportamiento de los relevamientos geo-mecánicos y su macizo rocoso (Saguay, 2016).

1.7. Marco teórico

1.7.1. Minería

La minería es una actividad industrial que se basa en la extracción y obtención de sustancias sólidas como los minerales y sustancias líquidas como el petróleo. Estas sustancias pueden ser recuperadas de la corteza terrestre para transformarlas en materia prima, productos energéticos que ayudan a cubrir las necesidades de la sociedad (Herrera, Introducción a la minería, 2017).

1.7.2. Minería a cielo abierto

Sistema operativo

El sistema operativo de un proyecto minero es un conjunto interrelacionado de procesos y técnicas que permiten la extracción de los minerales en una forma iterativa. Sin embargo, el sistema minero depende de la resistencia que las rocas tienen a su fragmentación o arranque y a su transporte (Herbert, 2006).

El sistema operativo de explotación que se use para la elaboración de un proyecto minero se debe diferenciar 3 operaciones unitarias: arranque, carga y transporte y vertido. Estas tres operaciones se ejecutan según el sistema de explotación, ya sea continuo o discontinuo, y el tipo de maquinaria (Almeida, 2018).

Figura 6.

Sistemas operativos.



Fuente: (Safety,2017)

1.7.3. Operaciones unitarias aplicadas en un proceso minero

Arranque

La operación de arranque de material es la primera operación de un proyecto minero, la cual se basa en fragmentar y desprender el material del frente de explotación

a un tamaño adecuado, para así poder realizar las maniobras de los equipos de carguío (Almeida, 2018).

Carguío

La fase de carguío se basa en recoger el material fragmentado, ya sea por arranque mecánico o voladura, para posteriormente depositarlos en otro equipo o instalación adyacente. Esta fase se realiza por lo generalmente con palas cargadoras frontales sobre ruedas y excavadoras hidráulicas dentro del sistema de explotación discontinuo (Almeida, 2018).

Transporte y vertido

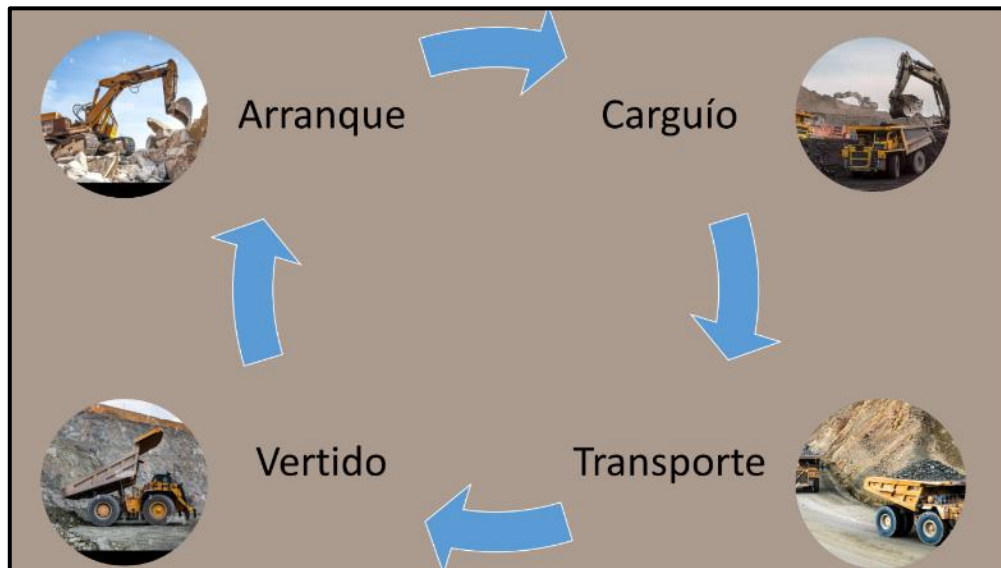
La operación de transporte se caracteriza por desplazar o transportar el material de explotación fracturado asía las plantas de tratamiento, zonas de apilamiento de material, y si es material estéril a las áreas de escombrera. Por lo general el vertido del material lo realiza el mismo equipo de transporte (Almeida, 2018).

Según las especificaciones técnicas y secuencia de variables, se establece un sistema de explotación y combinación de equipos mineros según el tipo de variables geológicas presentes en el yacimiento minero. A continuación, se detallan las combinaciones posibles que se pueden ejecutar en una obra minera (Almeida, 2018).

- (Arranque) + (Carguío) + (Transporte y Vertido)
- (Arranque y Carguío) + (Transporte y Vertido)
- (Arranque, Carguío, Transporte y Vertido)

Figura 7.

Sistema operativo de un proceso minero.



Fuente: Elaboración propia.

1.7.4. Cantera

Una cantera se define como un área que se caracteriza por almacenar un tipo específico de material o mineral, y que puede ser extraído para la posterior elaboración de materias primas, utilizadas en varios campos tales como mantenimiento vial, infraestructura, etc. Habitualmente las canteras son explotaciones a cielo abierto y de ellas se puede obtener rocas áridas u ornamentales, rocas industriales, entre otras (Balboa & Núñez, 2022).

1.7.5. Explotación de canteras

Para realizar la explotación de una cantera es necesario realizar el análisis de diversos parámetros, los cuales se relacionan con las características del yacimiento, tales como: parámetros geométricos, parámetros de material extraíble y parámetros ambientales.

A. Parámetros Geométricos

Para realizar la explotación de un yacimiento se debe ejecutar la investigación y desarrollo de mapas geológicos y estructurales. Al establecer una parte de la homogeneidad, calidad y continuidad de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio y de determinar si es factible su explotación, se procede a realizar estudios fotogeológicos que permitirán determinar con más detalle los puntos de afloramiento, la inclinación del cuerpo rocoso o buzamiento (Herrera, 2007).

B. Parámetros del material extraíble

Este parámetro hace referencia a los aspectos más importantes de un yacimiento, los cuales permitirán determinar el mayor o menor interés que puede tener el área de estudio para su explotación. Es por ello que para el análisis del material extraíble se pueden realizar estudios mineralógicos a detalle y estudios petrográficos que nos permitirán tener un mayor conocimiento sobre el material que se va a extraer (Herrera, 2007).

C. Parámetros ambientales

Este parámetro es de suma importancia para la puesta en marcha y el desarrollo de un proyecto minero, el cual se basa en un estudio medioambiental de base. Esta iniciativa no solo se refiere a una herramienta de gestión ambiental, sino que son consideradas como herramientas de competitividad y responsabilidad con el ambiente (Herrera, 2007).

1.7.6. Parámetros geométricos de una cantera

Una cantera minera utiliza el método a cielo abierto o tajo abierto, el cual es el método más avanzado técnicamente. Dicho sistema de explotación se caracteriza por poseer un diseño comprendido por varios bancos de extracción ubicados en el macizo rocoso o mineralizado (Vargas, 2001).

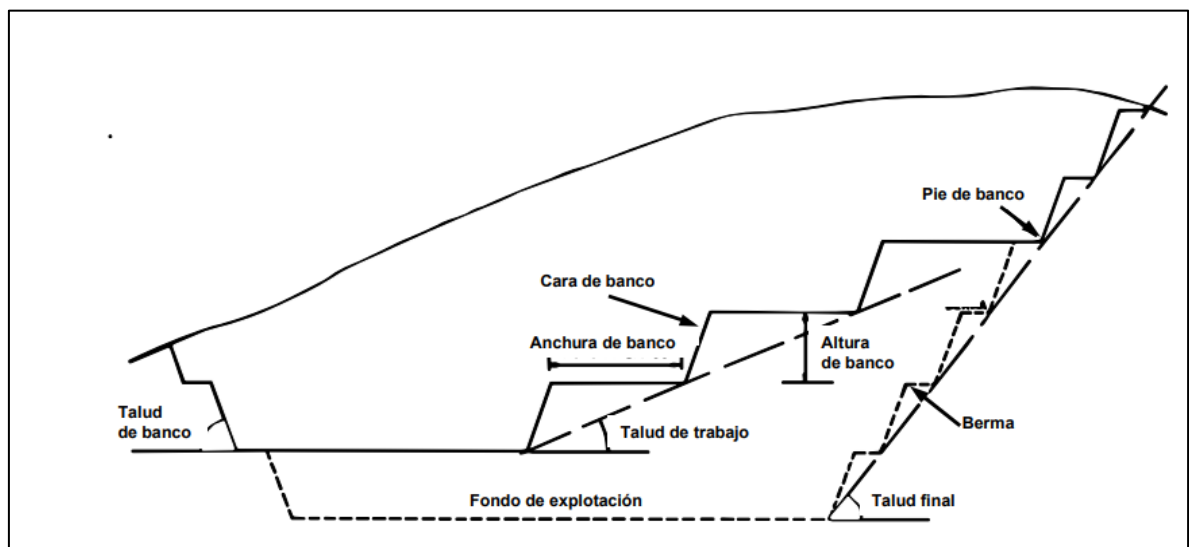
Los parámetros geométricos principales que componen una explotación a tajo abierto son los siguientes:

- **Banco:** Es conocido como escalón o modulo el cual se encuentra entre dos niveles que forman la rebanada que se explota, de mineral o estéril, y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta un área final preestablecida (Recalde & Morante, 2009).
- **Altura del banco:** Hace referencia a la distancia vertical entre dos niveles, es decir, la distancia tomada desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza (Recalde & Morante, 2009).
- **Talud de banco:** Es un ángulo, el cual está determinado por la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco (Recalde & Morante, 2009).
- **Talud de trabajo:** Es un ángulo definido por los pies de los bancos. Además, cabe recalcar que el talud de trabajo es una pendiente temporal de la excavación (Recalde & Morante, 2009).
- **Bermas:** Son plataformas horizontales que se encuentran en los límites de la explotación sobre los taludes finales. Además, las bermas ayudan a mejorar la estabilidad del talud y a las condiciones de seguridad frente a caídas de piedras o desplazamientos (Recalde & Morante, 2009).
- **Talud final de explotación:** Es el ángulo de talud firme definido por la horizontal y la línea que enlaza el pie del banco inferior y la cabeza del superior (Recalde & Morante, 2009).
- **Límites finales de la mina:** Son las situaciones especiales hasta las que llegan las excavaciones. Su límite horizontal establece el fondo final de la explotación y sus límites laterales, determina los taludes finales de la mina (Recalde & Morante, 2009).

- **Pistas:** Son estructuras viarias que están dentro de la explotación, los cuales sirven para el movimiento de los equipos los cuales ayudan a la extracción y transporte del mineral (Recalde & Morante, 2009).
- **Rampa de acceso:** Son vías construidas para el acceso de la maquinaria, específicamente de arranque de material. Además, se caracteriza por tener un ancho pequeño y al ser caminos de un solo carril, sus pendientes son superiores a las de las pistas (Recalde & Morante, 2009).
- **Ángulo de reposo del material:** Es el talud máximo del mineral estable, el cual no produce deslizamientos (Balboa & Núñez, 2022)

Figura 8.

Método de explotación a cielo abierto.



Fuente: (Herrera, 2007).

1.7.7. Estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes de una explotación minera a tajo abierto es muy importante debido a los factores de seguridad, viabilidad y rentabilidad de un proyecto. Es por ello que un proyecto debe ser analizado desde su etapa inicial. Además, se debe

dar seguimiento al proyecto con los datos obtenidos durante la explotación (Herrera, 2007).

1.7.8. Seguridad de taludes

De acuerdo con las condiciones geológicas y físicas de la zona, se puede utilizar los ábacos de Hoek and Bray, los cuales nos permiten tener una mejor referencia y obtención de datos más precisos en relación con la seguridad de los taludes, debido a que existen taludes de suelo o rocas fracturadas (Balboa & Núñez, 2022).

Figura 9.

Características de condiciones de flujo de agua para la selección de ábacos

Condiciones del flujo de agua subterráneas	Ábaco
Talud seco – completamente drenado	1
Salida del agua a 1/8 de la altura del talud	2
Salida del agua a 1/4 de la altura del talud	3
Salida del agua a 1/2 de la altura del talud	4
Talud completamente saturado con recarga superficial continuada	5

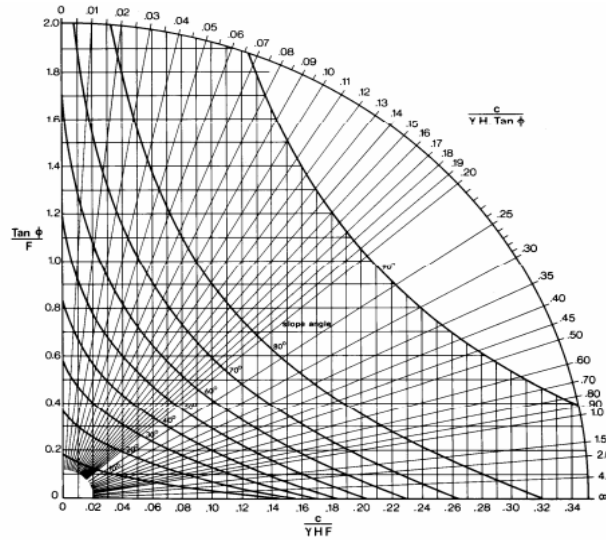
Fuente: (Pérez, 2005).

1.7.8.1. Tipos de ábacos utilizados para determinar el factor de seguridad

Ábaco N° 1

Figura 10.

Ábaco N°1 usado en talud seco - completamente drenado.

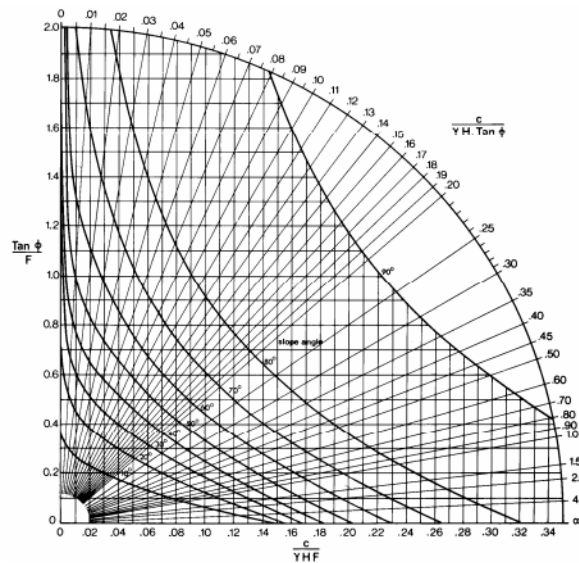


Fuente: (Pérez, 2005).

Ábaco N° 2

Figura 11.

Ábaco N°2 usado en una salida del agua a 1/8 de la altura del talud

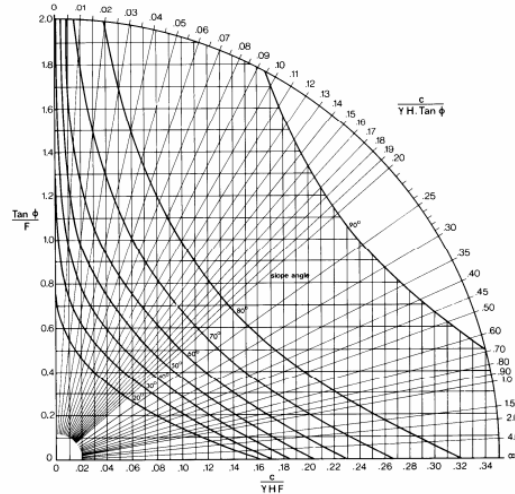


Fuente: (Pérez, 2005).

Ábaco N° 3

Figura 12.

Ábaco N°3 usado con salida del agua a 1/4 de la altura del talud

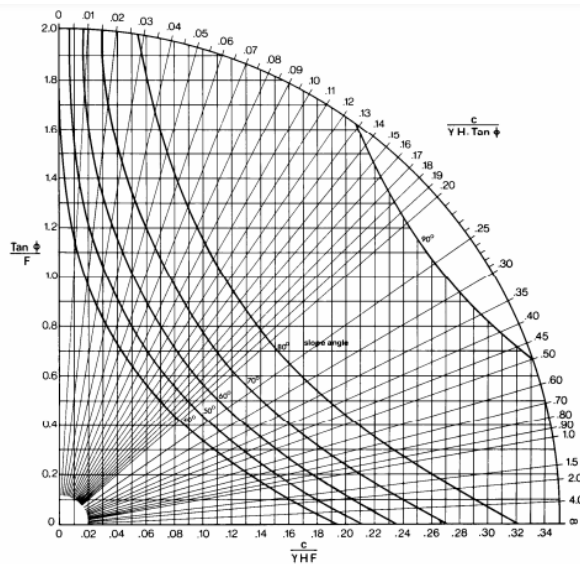


Fuente: (Pérez, 2005)

Ábaco N° 4

Figura 13.

Ábaco N°4 usado con salida del agua a 1/4 de la altura del talud.

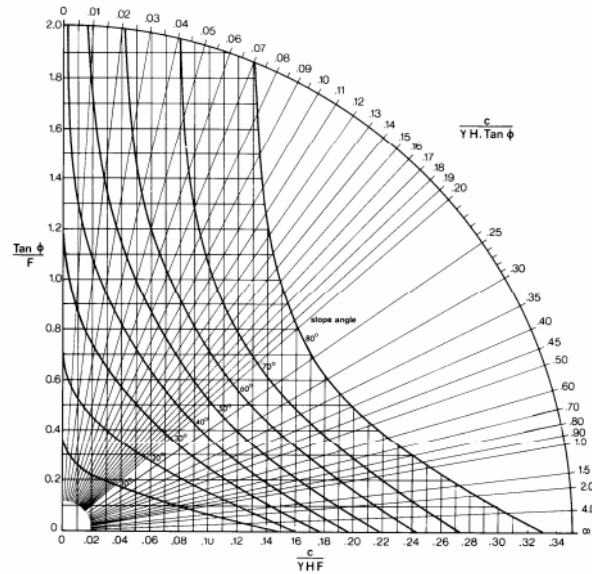


Fuente: (Pérez, 2005)

Ábaco N° 5

Figura 14.

Ábaco N°5 usado en talud completamente saturado con recarga superficial continuada.



Fuente: (Pérez, 2005)

1.7.9. Recomendaciones para el control y eliminación de riesgos en taludes

Unos de los factores más importantes que pueden perjudicar la seguridad de los taludes son:

- Deslizamiento de material suelto
- Colapso parcial de los bancos del talud
- Derrumbe general del talud

Las recomendaciones para el control y eliminación de los riesgos antes mencionados deben tener una puesta en práctica de los estudios necesarios para así poder dimensionar y definir las siguientes medidas (Herrera, 2007).

- Diseño adecuado de bancos y plataformas para retener los desprendimientos de materiales.
- Determinación y mantenimiento adecuado de taludes generales en condiciones seguras.

- Control de voladuras en el perímetro de la excavación, de cara a reducir los daños en el macizo remanente.
- Aplicación de sistemas de drenaje efectivo de los macizos para reducir los esfuerzos originados por el agua.
- Saneamiento sistemático y efectivo de materiales colgados (Herrera, 2007).

1.7.10. Sistema de explotación

Debido a las diversas características estructurales y aplicaciones que tienen los materiales, se puede describir sus distintos métodos los cuales son los más clásicos de la minería a tajo abierto:

1. Cortas
2. Graveras
3. Descubiertas
4. Minería hidráulica
5. Transferencias
6. Lixiviación
7. Terrazas
8. Contorno canteras
9. Especiales o mixtos

1.7.11. Sistemas de arranque

Una vez determinado los distintos tipos de sistemas de explotación, es de suma importancia establecer los sistemas de arranque, los cuales se caracterizan por los diversos equipos de arranque, carga y transporte utilizado en el proyecto minero.

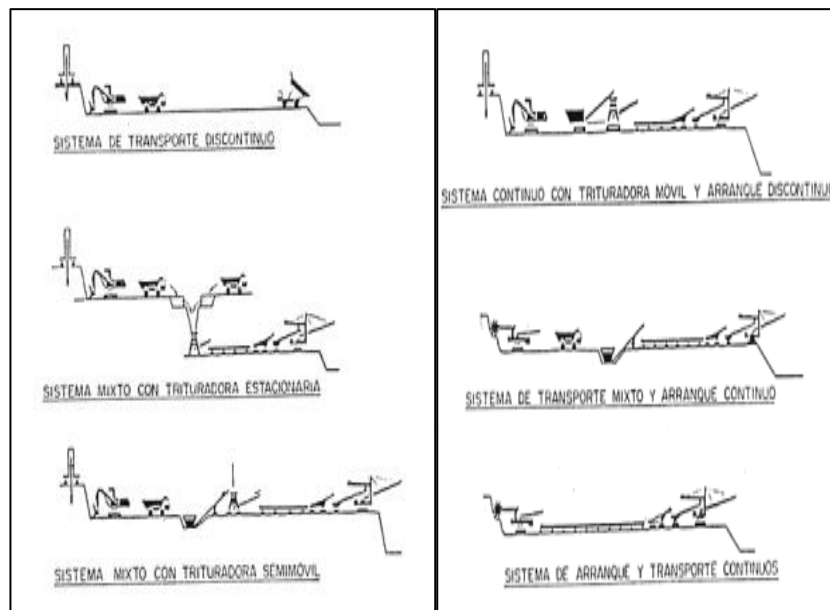
A continuación, se enumera los distintos tipos de sistemas de arranque:

- Sistema totalmente discontinuo
- Sistema mixto con trituradora estacionaria dentro de la explotación

- Sistema de transporte mixto y arranque continuo
- Sistema continuo con triturado móvil y arranque discontinuo
- Sistema mixto con trituradora semimóvil dentro de la explotación
- Sistema de arranque y transporte continuos (Herbert, 2006).

Figura 15.

Sistemas de arranque



Fuente: (Herbert, 2006).

1.8. Sísmica de refracción

La refracción sísmica es un método geofísico, no destructivo, que permite interpretar las propiedades de los suelos, y la de detectar la profundidad de las rocas, por medio del análisis de las variaciones de velocidades sísmicas (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016).

1.8.1. Método de refracción sísmica

Se lo define como un método de prospección general. Este método se basa en medir los tiempos de viaje de ondas de compresión o conocidas como Ondas P, las cuales se generan con una fuente de energía impulsiva, a varios puntos situados en

distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del área de estudio (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016).

Figura 16.

Aplicación del ensayo de sísmica de refracción.

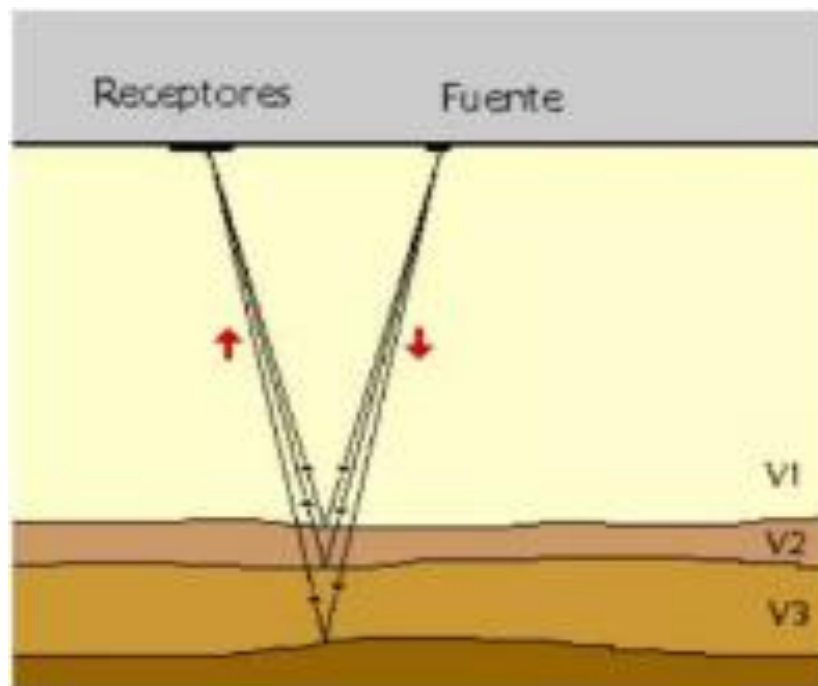


Fuente: (Ingesuelos de Colombia Ltda, 2021).

La energía que se genera y propaga en forma de ondas, es detectada, amplificada y registrada, de manera que se pueda determinar el tiempo de llegada a cada punto. El tiempo de inicio o tiempo cero de la grabación se da a partir de un dispositivo trigger o de arranque, que activa el sistema de adquisición de datos al momento de generarse el impacto o explosión. Es importante, mencionar que, la diferencia entre el tiempo de arribo o llegada y el tiempo cero permite evaluar el tiempo de propagación de las ondas desde la fuente de energía hasta el lugar en que estas son registradas (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016).

Figura 17.

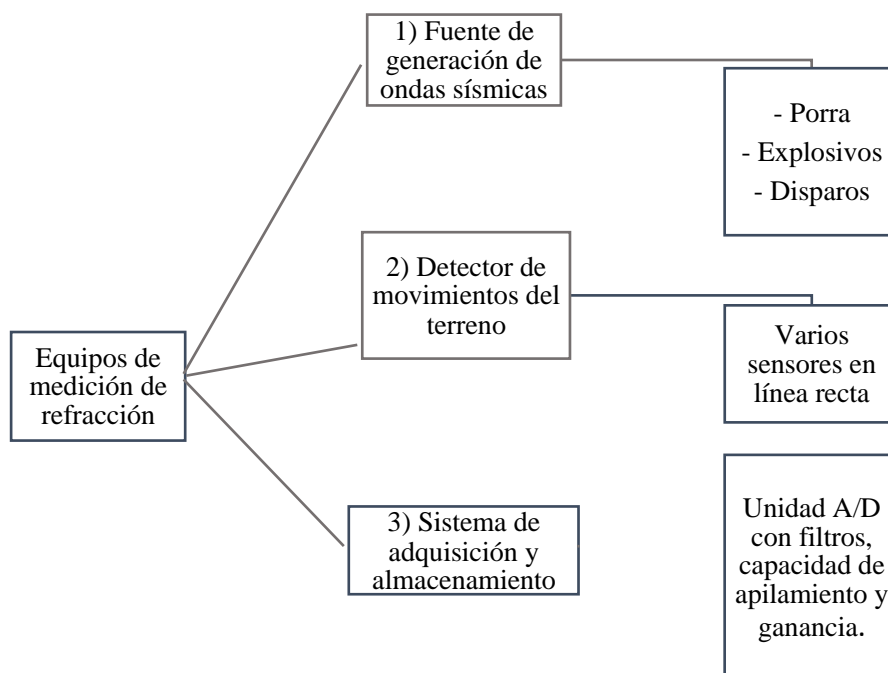
Esquema básico de la emisión y trayectoria de los rayos reflejados en 3 capas reflectoras



Fuente: (Rivera, Piedra, & Paripanca, 2016).

Figura 18.

Esquema de los equipos utilizados en el ensayo de sismica de refracción



Fuente: Elaboración propia.

1.9. Clasificación geomecánica de Bieniawski

La clasificación de Bieniawski o más conocida como clasificación RMR, fue demostrada por el ingeniero Bieniawski en 1973. Este ensayo RMR, se basa en realizar una clasificación de las rocas “in-situ”. Por lo general se usa para la construcción de túneles, taludes, cimentaciones, entre otros (González & Martínez, 2022).

La clasificación RMR se basa en 5 parámetros muy importantes:

- 1) RCS: Resistencia a la compresión simple
- 2) R.Q.D
- 3) Dd: Distancia entre discontinuidades
- 4) Cd: Condición de las discontinuidades
- 5) As: Agua subterránea

Al determinar todos los parámetros se procede a despejar la siguiente ecuación:

$$RMR = RCS + R.Q.D + Dd + Cd + As \quad (1)$$

1) Resistencia a la compresión (RCS)

La RCS es un parámetro que define los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico del macizo rocoso. Este parámetro suele ser determinado en laboratorio en donde sus muestras por lo general tienen una forma cilíndrica, en bloque, o irregular. La obtención de las muestras se da a partir de sondeos, sin voladura ya que esta puede llevar a genera micro fracturas a los testigos y provocar datos erróneos al momento de los ensayos (Feijoo & Padrón, 2020).

Tabla 4.

Clasificación de la roca según la RCS

Descripción	RCS (MPa)
Extremadamente blanda	<1

Muy blanda	1-5
Blanda	5-25
Moderadamente blanda	25-50
Dura	50-100
Muy dura	100-250
Extremadamente dura	250

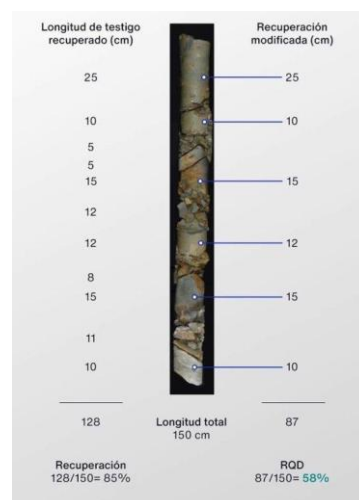
Fuente: (Feijoo & Padrón, 2020).

Rock Quality Designation (R.Q.D)

El R.Q.D hace referencia al grado de facturación que presentan las rocas. Este parámetro se basa en la suma de las longitudes de los fragmentos de testigos con más de 10 cm y con una longitud total del tramo considerado. Para determinar el índice RQD se debe realizar en cada sondeo, siendo recomendables que la longitud de cada testigo no exceda de los 1,5 m y su diámetro debe ser de 48 mm (Yepes, 2019).

Figura 19.

Ejemplo de testigo y determinación del RQD.



Fuente: (GEONET, 2023).

Si no se dispone con datos de sondeos, el índice RQD puede ser estimado mediante la ecuación:

$$RQD \approx 115 - 3.3JV \quad (2)$$

Donde

JV: número de fracturas

Figura 20.

Clasificación R.Q.D

RQD	CALIDAD DE LA ROCA
< 25 %	Muy pobre
25 – 50 %	Pobre
50 – 75 %	Aceptable
75 – 90 %	Buena
> 90 %	Excelente

Fuente: (Eadic,2021)

2) Distancia entre discontinuidades

Hace referencia a la distancia que existe entre dos planos de fallas de una misma familia, medida en la dirección perpendicular de los planos. (Belandria, 2007)

3) Condición de las discontinuidades

Este factor se basa en el análisis de las siguientes condiciones:

- Longitud de la discontinuidad
- Apertura o abertura que tiene el macizo rocoso
- Rugosidad
- Relleno

Figura 21.

Valoración para determinar las condiciones de las discontinuidades del macizo rocoso

Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1 – 3m	3 – 10m	10 – 20m	>20m
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Abertura	Nada	<0.1mm	0.1 – 1.0mm	1 – 5mm	>5mm
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	Puntuación	6	5	3	1	0
	Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro <5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando <5mm
	Puntuación	6	4	2	1	0
	Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
	Puntuación	6	5	3	1	0

Fuente: (Feijoo A. , 2021).

4) Agua subterránea

Este parámetro considera la presencia de agua en el macizo rocoso, debido a que esta puede generar inestabilidad del mismo. Es por ello que se realiza un análisis del estado hidrológico de la roca, el cual varía de un estado seco a tener problemas muy graves por la presencia de agua (Feijoo A. , 2021).

Figura 22.

Valoración para determinar las condiciones hidrológicas del macizo rocoso.

Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min
	Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	>0.5
	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación		15	10	7	4	0

Fuente: (Feijoo, 2021).

CAPÍTULO 2

OBTENCIÓN DE DATOS

2. Proceso

El presente capítulo tiene como objetivo detallar los datos existentes del proyecto minero “Rosario II”, el cual cuenta con datos topográficos y geo-mecánicos, que nos permitirán el desarrollo del diseño de explotación ajustado a la mina. Cabe recalcar que los datos que se detallaran a continuación fueron adquiridos a partir del “Estudio de Evaluación Mina el Rosario” la cual fue realizada por el Ing. Diego Ordoñez, dicho estudio se puede observar en el **ANEXO 2**.





2.1. Condición de Calicatas



Para el estudio de la mina se llevó a cabo líneas sísmicas de refracción de 55 m de longitud, las exploraciones se llevaron a cabo a diferentes profundidades hasta encontrar la roca fracturada.

2.1.1. Detalle de las calicatas de tipo PCA

En la tabla 5 se detallan las características de las calicatas realizadas por pozos a cielo abierto (PCA), las cuales fueron obtenidas a partir del estudio geológico y geotécnico de la mina el “Rosario II”.

Tabla 5.*Datos del estudio geotécnico y geológico de la mina "Rosario II".*

Puntos	Coordenadas	Descripción	Calicata
PCA – 01	UTM-WGS84: 788693 E / 9676992 N	Material: Arcilloso, fino con grava de 10 mm. Humedad: Media Nivel freático donde se ubica la roca fracturada: 70 cm	
PCA – 02	UTM - WGS84: 788675 E / 9677025 N	Material: arcilloso con fragmentos de feldespatos de 5 a 10 cm. Humedad: Baja	
PCA – 03	UTM-WGS84: 788694 E / 9677039 N	Material: Arcilloso arenoso con arena fina, la cual presenta un color amarillento con blanco y manchas negras Profundidad de excavación: 2m	
PCA – 04	UTM-WGS84: 788694 E / 9677039 N	Material: Arcilloso limoso con coloración café, con materiales blancos y manchas negras. Profundidad de estrato: 2.5m Esta calicata se caracteriza por	

		estar ubicada en la 3 ^{ra} línea cerca del límite de transmisión.	
PCA – 05	UTM-WGS84: 788715 E / 9677042 N	<p>Material: arenoso, sin arcilla, su color es rosado y amarillento</p> <p>Humedad: media</p> <p>Además, en este punto contiene un talud y una plataforma de 5m y otro talud de 6 a 7m.</p>	
PCA - 06	UTM-WGS84: 788695 E / 9676991 N	<p>Material: es semejante al material del punto PCA 02 y PCA 04. Es un material con coloración café con manchas amarillas, además contiene grava de 5 hasta 10 cm.</p> <p>Profundidad de excavación final: 2m</p>	

Fuente: (Ordóñez, 2021).

2.2. Ensayo sísmico de refracción

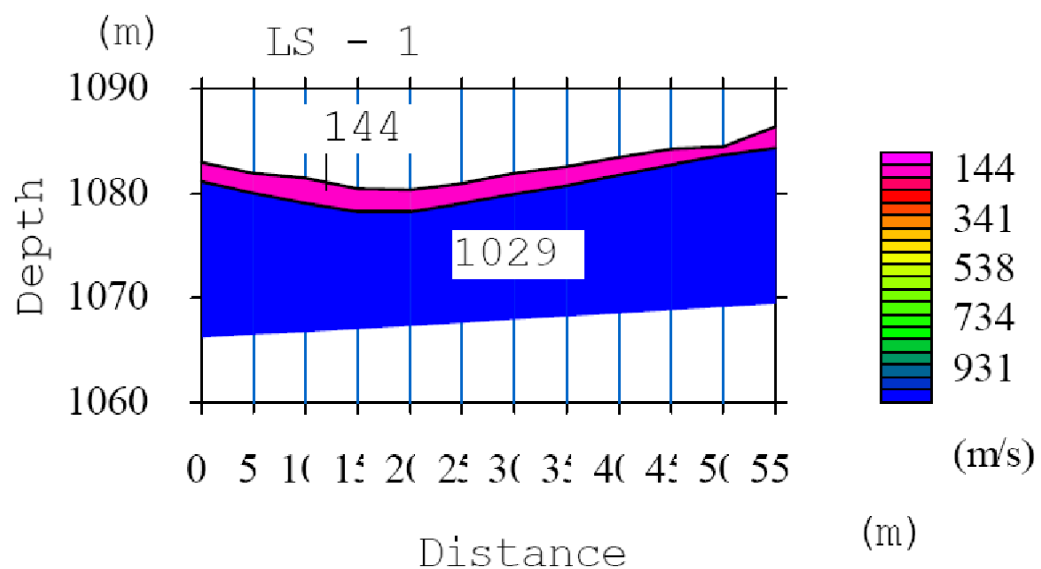
Los datos obtenidos en el Informe geológico y geotécnico de la mina “Rosario II” tienen como fin el de conocer la conformación del material presente en el subsuelo, dicho estudio habría sido realizados sobre tres perfiles, con una longitud de 55 m. Dichos perfiles estaban ubicados en varios niveles de forma paralela entre sí, sobre la superficie de la mina, en donde se produjeron ondas Vp.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

- **Perfil LS-1:** Tiene una primera capa caracterizada por una velocidad de 144 m/s lo que correspondería a la capa vegetal y suelo de cobertura de tipo limoso con un espesor de 0.8 m a 2.3 m, una segunda capa presenta una velocidad de 1029 m/s, lo que probablemente represente una roca ígnea muy meteorizada y fracturada (Ordóñez, 2021).

Figura 23.

Perfil LS-1, Ondas Primarias.

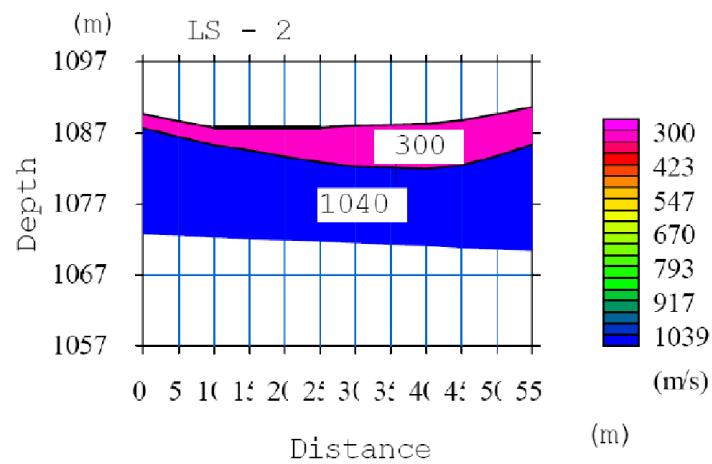


Fuente: (Ordóñez, 2021).

- **Perfil LS-2:** La primera capa presenta una velocidad de 300 m/s con una longitud de 1.9 m a 6.3 m correspondiente a capa vegetal y suelo residual. Una segunda capa representa una velocidad de 1040 m/s que puede estar constituido por roca de base fractura y fragmentada (Ordóñez, 2021).

Figura 24.

Perfil LS-2, Ondas Primarias.

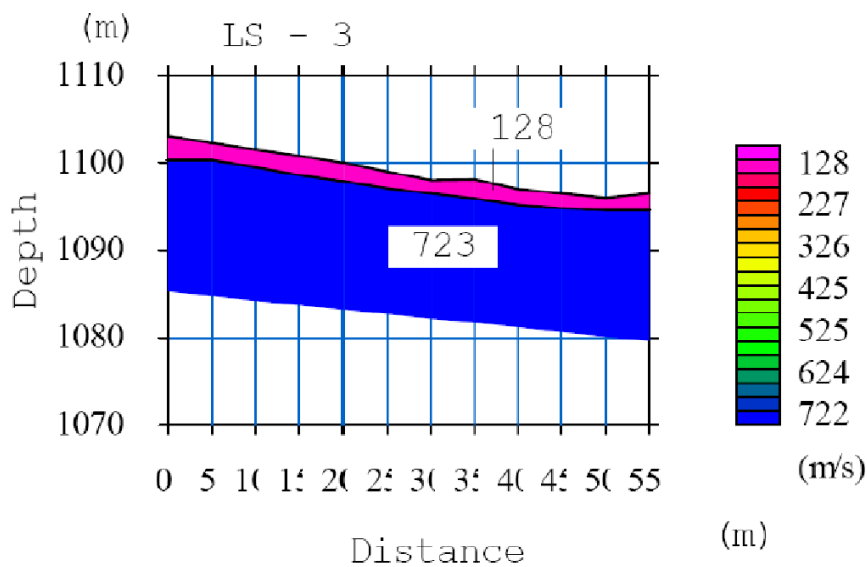


Fuente: (Ordóñez, 2021).

- **Perfil LS-3:** la primera capa está representada por una velocidad de 128 m/s teniendo una profundidad de 1.3 m a 2.8 m lo que es la capa vegetal y suelo residual y la segunda capa tiene una velocidad de 723 m/s, probablemente materiales arenosos sueltos (Ordóñez, 2021).

Figura 25.

Perfil LS-3, Ondas Primarias.



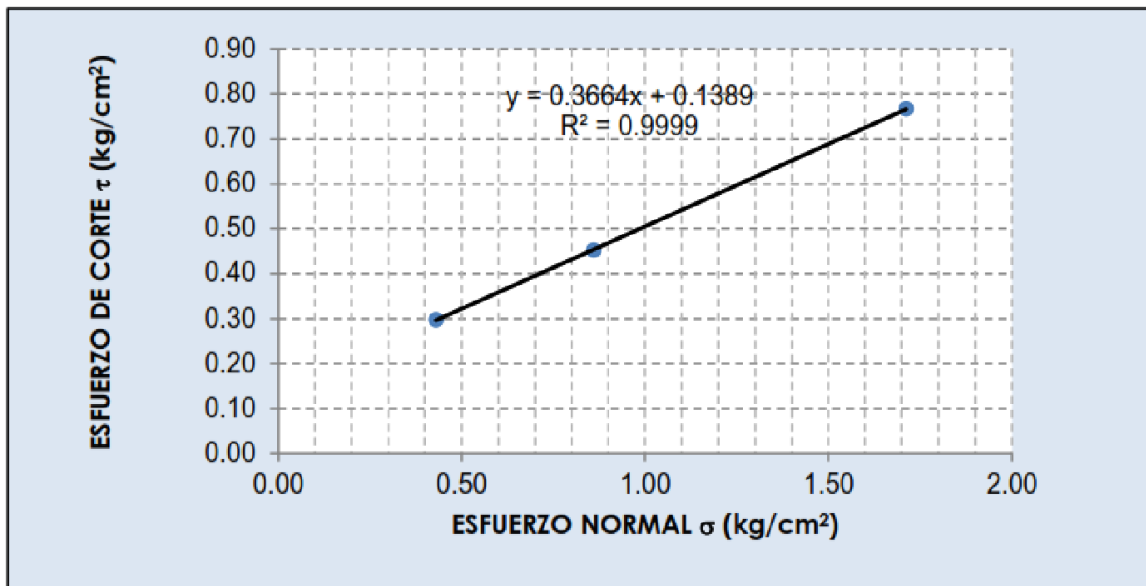
Fuente: (Ordóñez, 2021).

2.3. Ensayo de Corte Directo

El análisis de corte directo nos ofrece información sobre la resistencia al corte del suelo residual presente en áreas específicas de la mina, particularmente en la zona superior del frente de explotación en el noroeste. Este análisis sigue los lineamientos de la normativa ASTM D-3086. A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos en el análisis (Ordóñez, 2021).

Figura 26.

Envolvente de falla, ensayo de corte directo.



Fuente: (Ordóñez, 2021).

2.4. Clasificación geo-mecánica RMR (Rock Mass Rating)

En el área de estudio se procedió a realizar la clasificación de Bieniawsaki, la cual se basa en la clasificación del macizo rocoso que a su vez nos permiten relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo, excavación y sostenimientos.

Tabla 6.

Parámetros de Clasificación

A. Parámetros de Clasificación		Rango de Valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Point Load Test	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Rangos menores es preferible la prueba de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión Uniaxial	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	PUNTAJE	15	12	7	4	2	1	0	
2	Rock Quality Designation	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %			
	PUNTAJE	20	17	13	8	3			
3	Espaciamiento de las discontinuidades	>2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm			
	PUNTAJE	20	15	10	8	5			
4	Longitud de la discontinuidad	< 1 mm	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20			
		PUNTAJE	6	4	2	1	0		
	Separación	Ninguna	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
		PUNTAJE	6	5	4	1	0		
	Rugosidad	Muy Rugoso	Rugoso	Ligeramente rugoso	Ondulado	Suave			
		PUNTAJE	6	5	3	1	0		
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno Suave < 5	Relleno suave > 5 mm			
		PUNTAJE	6	5	2	2	0		
	Alteración	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Altamente Alterada	Descompuesta			
PUNTAJE		6	5	3	1	0			
5	Presencia de Agua	Caudal por 10 m de	Ninguno	< 10	10-25	25 - 125	> 125		

	túnel (l/m)					
	Presión de agua	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
	Estado General	Completamente seco	Ligeramente Húmedo	nb	Goteando	Agua Fluyendo
	PUNTAJE	15	10	7	4	0
Total						63
B. PUNTAJE DE AJUSTE POR ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES						
	Orientación de veta y profundidad	Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
	Túneles y mina	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-
					PUNTAJE TOTAL	58
					=	

C. CLASIFICACIÓN DE MACIZOS A PARTIR DE PUNTAJES TOTALES					
PUNTAJE	80 a 100	61 a 80	41 a 60	21 a 40	< 21
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Discreta	Pobre	Muy Pobre

Fuente: (Ordóñez, 2021).

El resultado total del sistema de clasificación da un puntaje de 58 puntos, lo cual indica que el macizo es de clase tipo tres y su calidad es discreta. Con esa puntuación se aplica los parámetros de clasificación para obtener la cohesión y ángulo de fricción interna del macizo rocosos en la tabla 2.3.

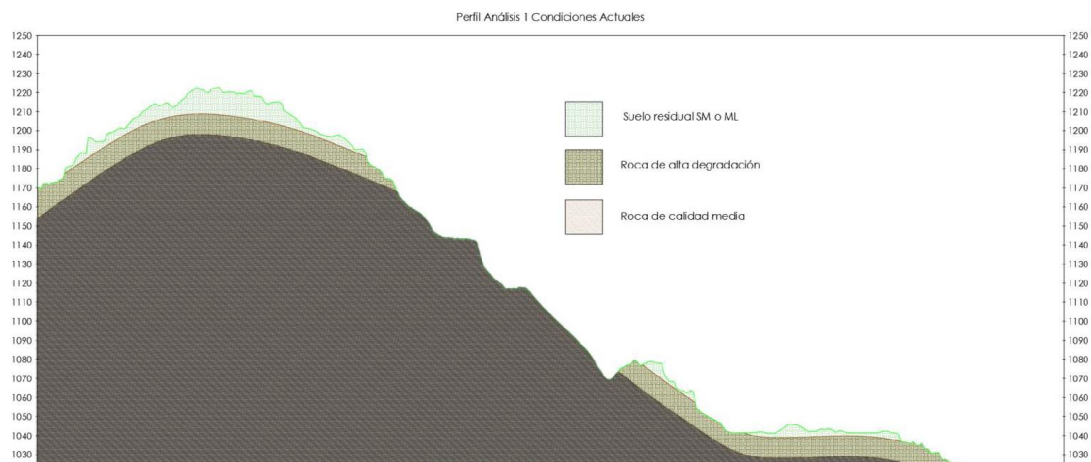
Tabla 7.*Cohesión y ángulo de fricción interna del macizo rocos*

Clase	Calidad	Puntuación	Cohesión	Ángulo de fricción
I	Muy buena	100-81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80-61	$3 - 4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ - 45^\circ$
III	Media	60-41	$2 - 3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ - 35^\circ$
IV	Mala	40-21	$1 - 2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ - 25^\circ$
V	Muy Mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Fuente: (Ordóñez, 2021).**2.5. Determinación de parámetros geotécnicos**

En función de la exploración geotécnica realizada se determinó que en la zona de explotación se presentan tres materiales como predominantes:

- Roca de calidad media con un RMR de 58, que se estima posea una potencia de 15 m y se observa mayoritariamente en el centro de explotación.
- Roca muy meteorizada localizada en la zona noreste de la mina, donde se ha ejecutado mayor explotación, y esta se localiza hasta los 4 m de profundidad.
- Suelo residual de color blanco que dependiendo de su nivel de degradación se clasifica como una arena limosa Sm, o como un limo de baja compresibilidad ML.

Figura 27.*Perfil geológico.***Fuente:** (Ordóñez, 2021).

Para los materiales del sitio que se presentan en el perfil geológico, se obtiene los correspondientes parámetros geo-mecánicos.

- Para el suelo residual tenemos una cohesión de 1200 kg/m^2 , un ángulo de fricción interna de 16° , y un peso específico de 1672 kg/m^3 .
- Para la roca muy meteorizada se asume los parámetros mecánicos obtenidos en el estudio “Evaluación Mina el Rosario”, siendo estos de una cohesión de 5098 kg/m^2 , un ángulo de fricción interna de 35° , y un peso específico de 2039 kg/m^3 .
- Para la roca de calidad media se asume los parámetros mecánicos en función de la calificación RMR, se asume un valor de cohesión de 25000 kg/m^2 y un ángulo de fricción interna de 20° . Adicionalmente, en el estudio “Informe geológico geotécnico mina Rosario” se dar un valor al peso específico de 2345 kg/m^3 .

En forma de resumen, en la tabla 8 se establecen los parámetros geotécnicos para los tres diferentes materiales:

Tabla 8.

Parámetros geotécnicos para los tres diferentes materiales presentes en la zona de estudio.

Parámetro	Unidad	Suelo Residual	Roca muy meteorizada	Roca de calidad media
Peso específico	(kg/m ³)	1672	2039	2345
Cohesión	(kg/m ²)	1200	5098	25000
Ángulo de fricción interna	°	16	35	20

Fuente: (Ordóñez, 2021).

Para el diseño de explotación se tomará en cuenta los valores de la roca muy meteorizada, ya que establece valores promedio de pesos específico y cohesión del material (suelo residual y roca de calidad media) presente en la zona a explotar.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

3. Proceso

En el presente capítulo se procedió a realizar el diseño de explotación del proyecto minero “Rosario II”. Los cuales nos permitirán calcular parámetros tales como la profundidad de la cantera, la altura de los bancos, ángulo de talud, altura del talud, número de bancos, ancho de la vía de acceso, cunetas de coronación, entre otros.

3.1. Sistema de explotación

Al analizar las condiciones geológicas, geomorfológicas y geo-mecánicas, así como su posible acceso así el proyecto minero “Rosario II”, se pudo establecer el diseño más óptimo para su explotación, el cual consta de un método de explotación a cielo abierto con un sistema de bancos descendentes.

3.2. Profundidad de la cantera

El presente parámetro tiene como objetivo determinar la profundidad del mineral o roca de interés para así poder diseñar y estar al tanto de su límite de explotación. Es por ello por lo que en el proyecto se pudo obtener una cota inferior de 1100 m.s.n.m y una cota superior de 1275 m.s.n.m para posteriormente realizar el cálculo de la profundidad de la cantera:

$$Pc = C_{MAX} - C_{MIN} \quad (3)$$

En donde C_{MAX} representa la cota superior y C_{MIN} la cota inferior, por lo que, al reemplazar los valores se tiene una profundidad de la cantera de:

$$Pc = 1225 - 1100$$

$$Pc = 125 \text{ m. s. n. m.}$$

3.3. Diseño de explotación

3.3.1. Altura de banco

La altura del banco fue determinada a partir de las dimensiones del equipo; principalmente en función del alcance máximo del brazo del equipo de extracción del material de interés. Por lo que se tomó las medidas del brazo de una excavadora que logra una altura máxima de 10 m. para así poder determinar la altura de los bancos con la siguiente ecuación:

$$H_b = H_{Max} * 0.9 \quad (4)$$

En donde el Hmax hace referencia a la altura máxima del alcance del equipo de arranque, por lo que al reemplazar los valores se puede obtener:

$$H_b = 10 * 0.9$$

$$H_b = 9 \text{ m}$$

3.3.2. Ángulo de talud de los bancos

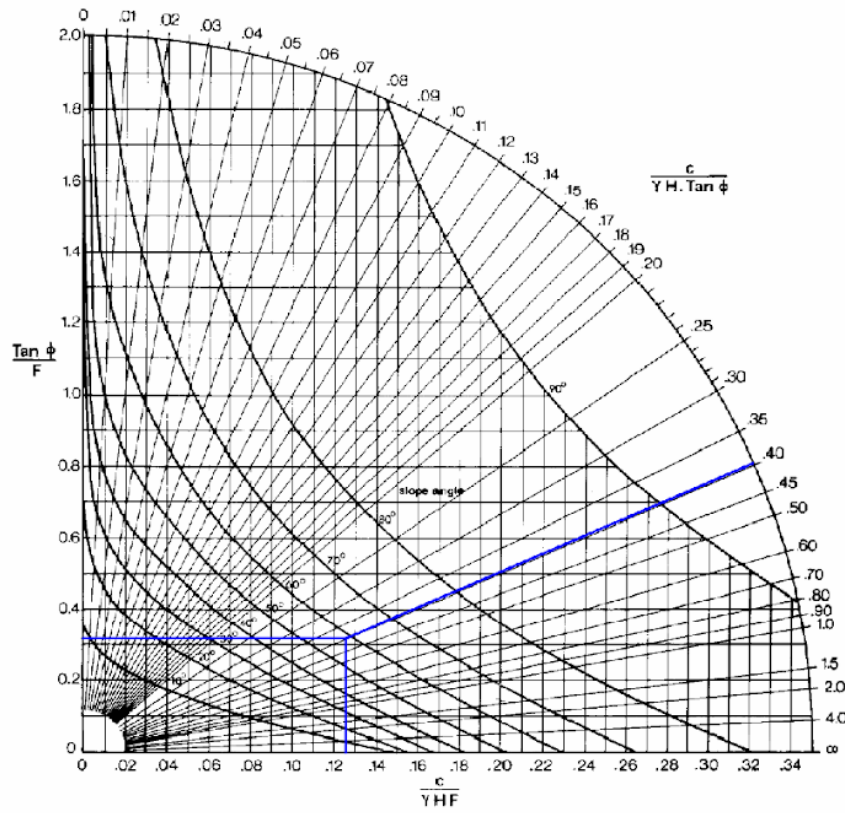
Para saber el ángulo del talud, se procedió a determinar el factor de seguridad, y que este sea el adecuado tanto para las mejores y peores condiciones que se presenten, por lo tanto, se analizó con el Ábaco 2 para condiciones en donde la presencia de agua es escasa y con el ábaco número 5 cuando el talud está completamente saturado de agua.

La literatura nos dice que el factor de seguridad debe ser mayor a 1. Un factor de seguridad igual a 1 indica que el sistema está justo en el límite de su capacidad y cualquier cambio mínimo podría resultar en un colapso o fallo.

En términos prácticos, un factor de seguridad de 1.5, por ejemplo, significa que la estructura o diseño es capaz de soportar una carga o fuerza que es un 50% mayor que la carga máxima esperada o las condiciones de diseño. Un factor de seguridad mayor proporciona un margen de seguridad adicional ante posibles variaciones en las condiciones reales o en las cargas aplicadas.

Figura 28.

Factor de seguridad analizado en el ábaco N°2.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.

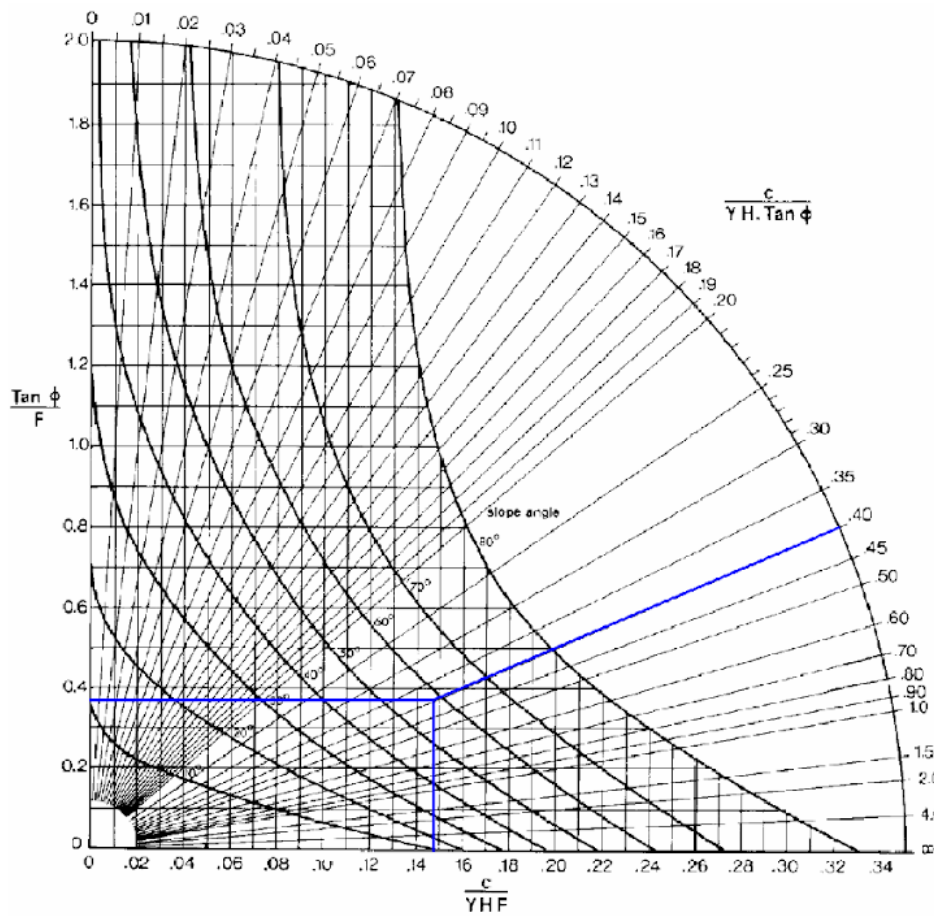
Descripción de los parámetros de la estabilidad de talud – Ábaco N° 2.

PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUD, ÁBACO 2					
Ángulo de talud	Altura del banco (H)	$\frac{c}{\gamma H \tan\phi}$	$\frac{c}{\gamma H F}$	$\frac{\tan\phi}{F}$	Factor de seguridad
57°	9 m	0.397	0.126	0.32	2.2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29.

Factor de seguridad analizado en el ábaco N°5.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.

Descripción de los parámetros de la estabilidad de talud – Ábaco N° 5.

PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE TALUD, ÁBACO 5					
Ángulo de talud	Altura del banco (H)	$\frac{c}{\gamma H \tan\phi}$	$\frac{c}{\gamma H F}$	$\frac{\tan\phi}{F}$	Factor de seguridad
57°	9 m	0.397	0.147	0.37	1.89

Fuente: Elaboración propia.

Con el ábaco número 5 tenemos un factor de seguridad de 1.89, se garantiza la estabilidad del talud, por lo tanto, el ángulo escogido de 57° para el diseño de la cantera es aceptable con una altura de banco de 9 m.

3.3.3. *Número de bancos*

Para establecer el número de bancos se procede mediante la siguiente ecuación

$$N^{\circ} \text{ de bancos} = \frac{H}{Hb} \quad (5)$$

En donde H representa la profundidad de la cantera y Hb la altura de los bancos.

$$N^{\circ} \text{ de bancos} = \frac{125}{9}$$

$$N^{\circ} \text{ de bancos} = 13.88 \approx 14$$

Según el resultado anterior se procederá de la siguiente manera: 13 bancos tendrán una altura de 9 m, mientras que el banco restante será de 8 metros, el cual se realizará acorde a la operación.

3.3.4. *Plataforma de trabajo*

La plataforma de trabajo permite el desarrollo de las actividades de la maquinaria, como las excavadoras y volquetas, por lo que, para determinar su ancho mínimo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$B_{pt} = A + C + T + B \quad (6)$$

En donde,

- Bpt: ancho de la plataforma de trabajo
- A: ancho de amontonamiento
- C: espacio de maniobra de las excavadoras
- T: ancho de la vía
- B: borde de seguridad

Para determinar el ancho de la plataforma de trabajo se debe despejar cada uno de los factores: A, C, T y B, en donde se debe usar las siguientes ecuaciones:

- **Ancho de amontonamiento**

En el presente proyecto se tomará un ancho de amontonamiento referencial de 2.5 m

- **Espacio de maniobra de las excavadoras**

Este factor se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C = 1,5 * L_{exc} \quad (7)$$

En donde L_{exc} hace referencia al ancho de la excavadora, la cual en este caso tiene un ancho de 3 m.

$$C = 1,5 * 3 m$$

$$C = 4.5 m$$

- **Ancho de la vía**

El ancho de la vía se obtiene usando la siguiente ecuación:

$$T = A * (0,5 + 1,5 * n) \quad (8)$$

En donde A es el ancho de la maquinaria de transporte, en este caso se utilizó un ancho promedio de 2.5 m. Mientras que n es el número de carriles, el cual será de 2 carriles, ya que se toma en consideración la entrada y salida de la maquinaria de transporte.

$$T = 2.5 m * (0,5 + 1,5 * 2)$$

$$T = 8.75 m$$

- **Borde de seguridad**

El borde de seguridad, la cual sirve como protección para la movilización de la maquinaria, depende de la altura y el ángulo de los bancos. Por lo general, este parámetro debe ser mayor o igual a 0.3 veces la altura del banco (H_b).

$$bs \geq (0.3)H_b$$

$$bs \geq (0.3) * 9m$$

$$bs \geq 2.7 \text{ es decir que borde de seguridad debe ser } \geq 3m$$

Al tener todos los parámetros para calcular la plataforma de trabajo se procede a despejar la siguiente ecuación:

$$B_{pt} = A + C + T + B \quad (9)$$

$$B_{pt} = 2.5 m + 4.5 m + 8.75 m + 6 m$$

$$B_{pt} = 21.75 \text{ m} \approx 22$$

Por lo tanto, el factor de la plataforma de trabajo será de 22 m

3.3.5. *Bermas finales o de resguardo*

Para el cálculo de las bermas de resguardo, se usó una ecuación de acuerdo con el criterio de Ritchie (1963), la cual fue modificada por Call y Evans (1992)

$$W = 0.2 H + 2.0 \quad (10)$$

Esta ecuación fue tomada, debido a que su criterio dice que solo se debe usar con bancos que tienen una altura (H) menor o igual a 9.0 m.

$$W = 0.2 (9.0) + 2.0$$

$$W = 3.8 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

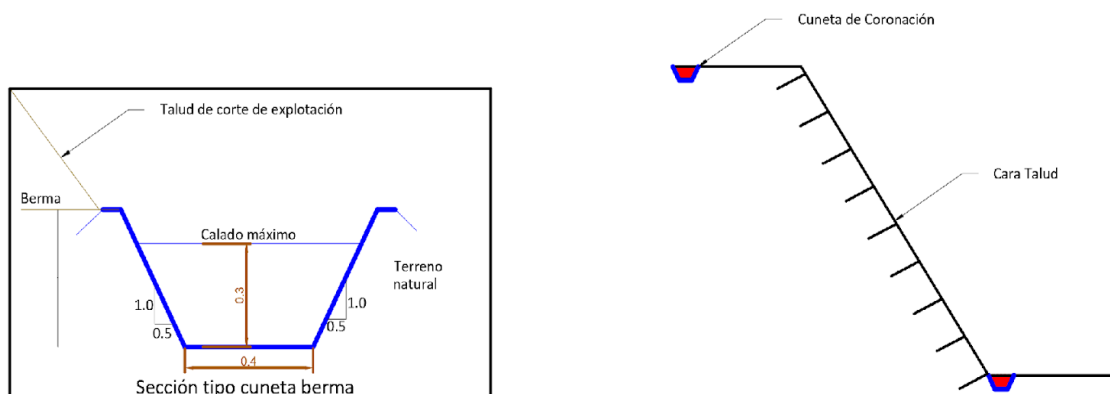
Al despejar la ecuación de W (berma de resguardo) se pudo obtener un valor de 4 m.

3.3.6. *Cunetas de desagüe*

En el presente diseño se vio necesario diseñar cunetas de desagüe, las cuales permitirá el movimiento del agua de escorrentía. Por lo que sus dimensiones serán: 40 cm de ancho y 40 cm de profundidad.

Figura 30.

Dimensiones de las cunetas de desagüe.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño de explotación

Para la explotación de feldespatos se estableció un sistema de explotación a cielo abierto por metodología de un banqueo descendente, la cual contara con un total de 6 fases.

- Primera fase: va desde la cota 1174.17 m.s.n.m hasta llegar a la cota 1149.00 m.s.n.m.
- Segunda fase: inicia desde la cota 1149.00 m.s.n.m hasta la cota 1131 m.s.n.m.
- Tercera fase: va desde la cota 1131 m.s.n.m hasta la cota 1113 m.s.n.m.
- Cuarta fase va desde la cota 1113 m.s.n.m hasta la cota 1095.00 m.s.n.m.
- Quinta fase desde la cota 1095.00 m.s.n.m hasta la cota 1077.00
- Sexta fase: se concentra en la cota de 1077.00 m.s.n.m. hasta 1069 m.s.n.m.

Para realizar el diseño de la cantera se implementó el software Autocad Civil 3d, el cual se posee una licencia de estudiante, este software nos permitió calcular el volumen de cada fase.

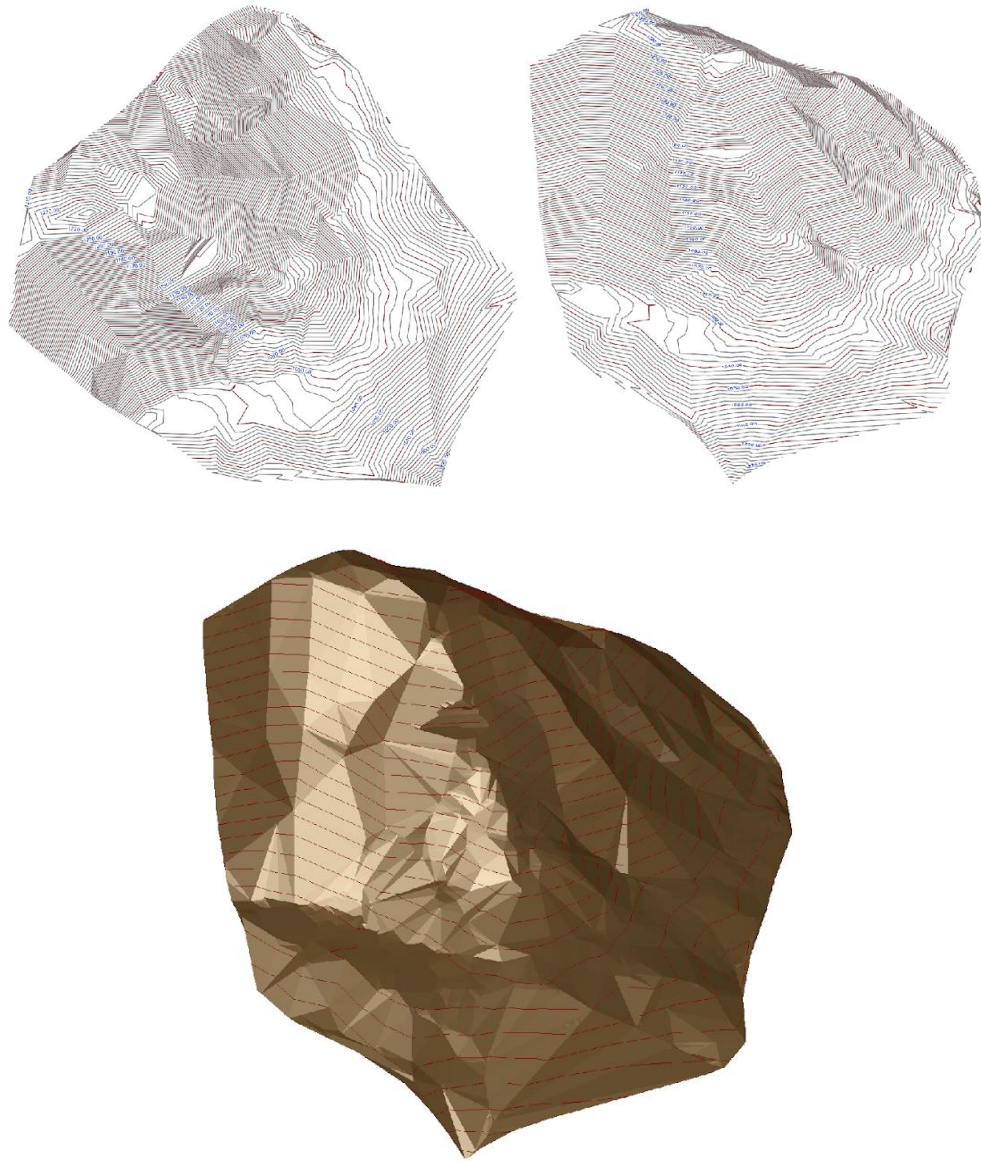
Para la extracción del material se iniciará con la primera fase de explotación desde la cota superior, posteriormente se construirá una berma de seguridad de 4 m y se avanzará 9 m hacia abajo con un ángulo de 57° con respecto a la horizontal, para efectuar el procedimiento de arranque, carguío y transporte del material, hasta llegar a la cota mínima de cada una de las áreas de explotación.

3.4.1. Primera Fase

En esta fase tiene un área promedio de sección de 63.47 m^2 con una distancia de 40 m, lo que da como resultado una extracción de material de 2538.8 m^3 , además se tiene un área disponible para maniobras de 569.14 m^2 .

Figura 31.

Primera fase de explotación.



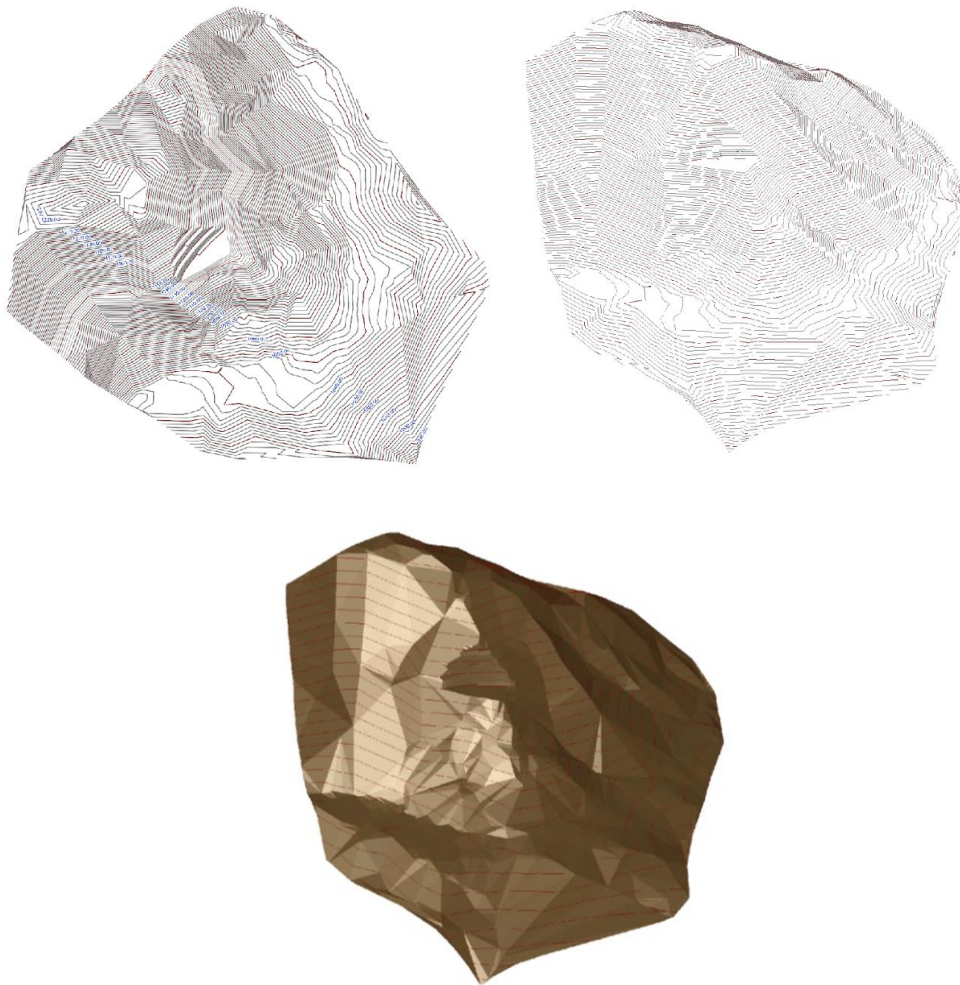
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Fase 2

Conformada la primera fase de explotación, esta segunda tiene un área promedio de sección de 215.86 m^2 con una distancia de 60 m, teniendo un volumen para explotar de 12951.6 m^3 , con una plataforma de maniobra de 926.37 m^2 .

Figura 32.

Segunda fase de explotación.



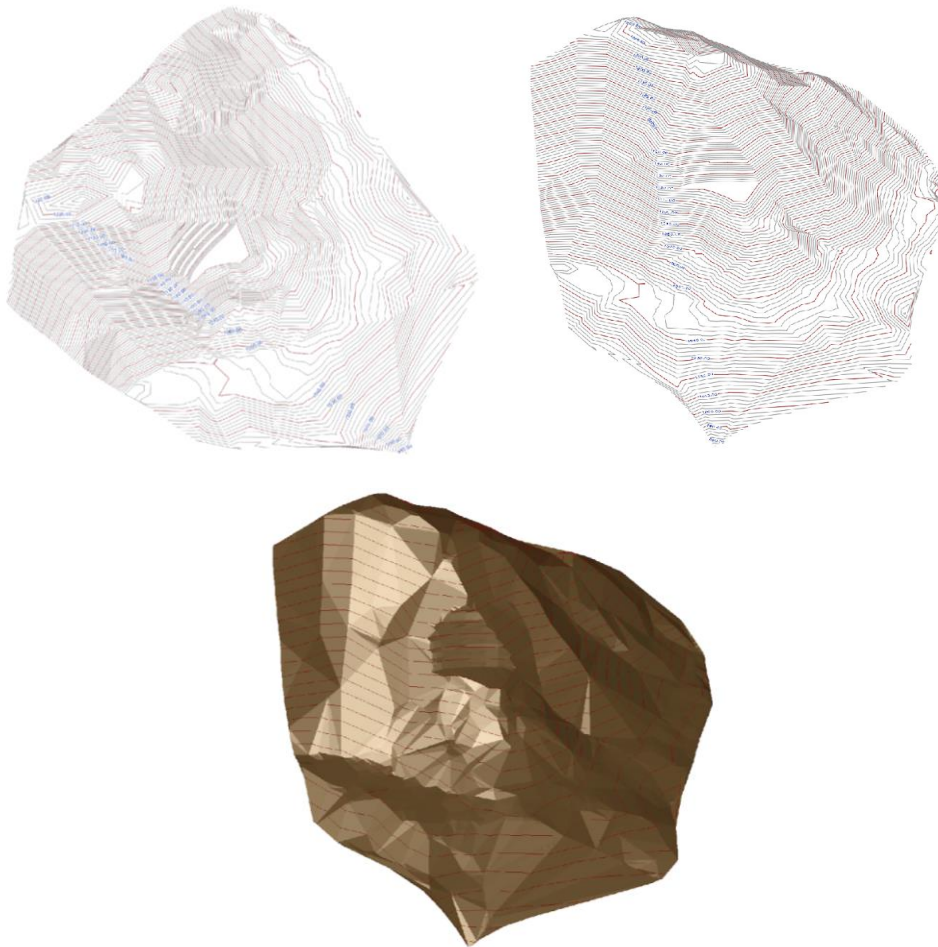
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Fase 3

En esta fase tenemos un área de sección de 277.64 m^2 con una longitud de 80 m, dando un volumen de explotación de 22211.2 m^3 , en esta fase se tiene un área de maniobra de 1130.81 m^2 .

Figura 33.

Tercera fase de explotación



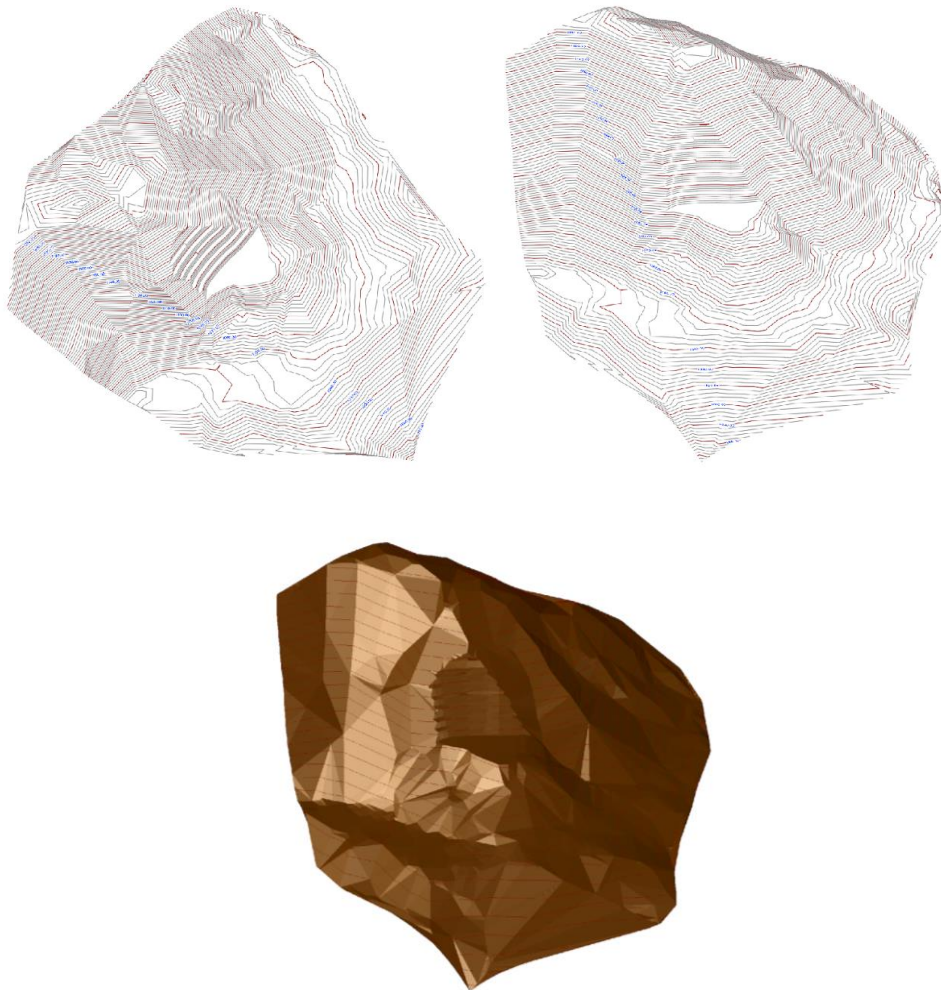
Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Fase 4

Para la fase 4 tenemos un área de sección de 424.25 m^2 con una distancia de 80 m, dando un volumen de extracción de 33940 m^3 con un área de 1317.33 m^2 para maniobra de la maquinaria.

Figura 34.

Cuarta fase de explotación.



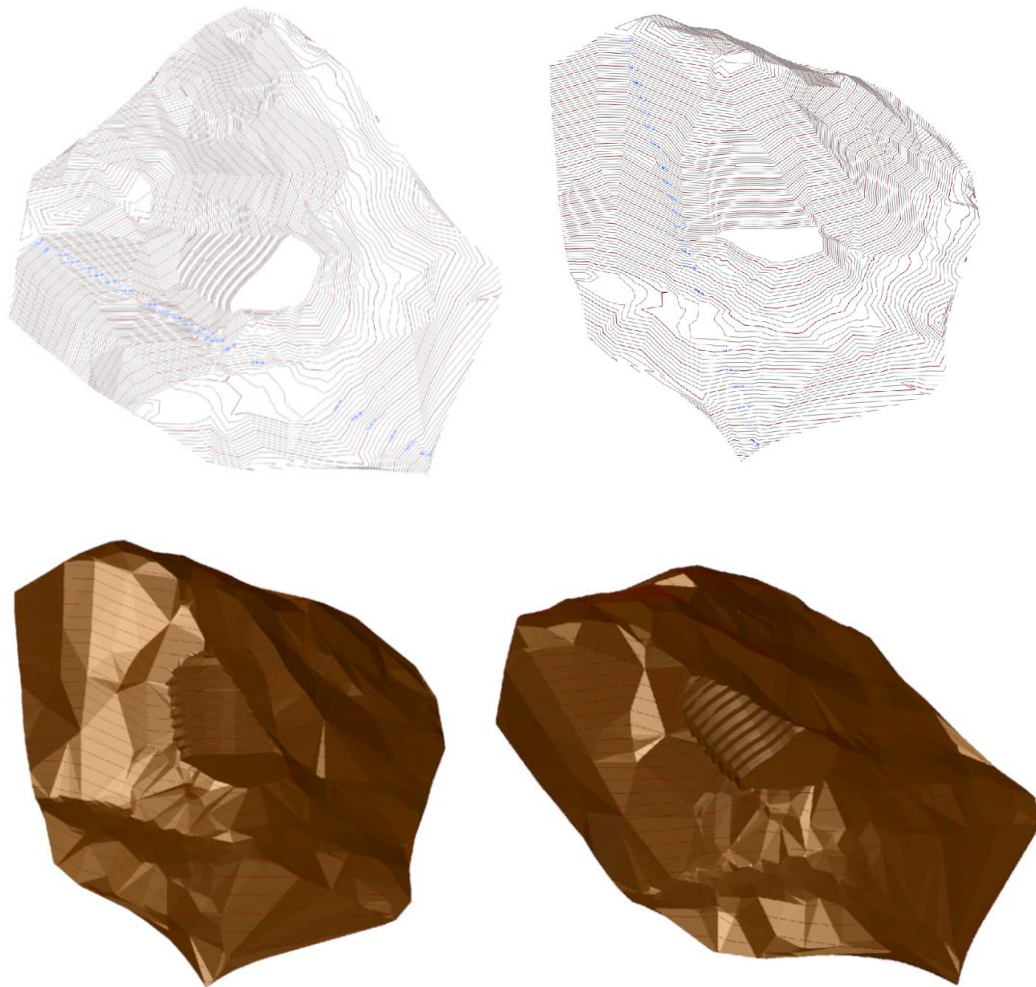
Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Fase 5

En esta fase contamos con un área promedio de sección de 665.39 m^2 con una distancia de 100 m, dando como resultado una extracción de volumen de 66539 m^3 , además contando con un área para maniobra de maquinaria de 1461.49 m^2 .

Figura 35.

Quinta fase de explotación.



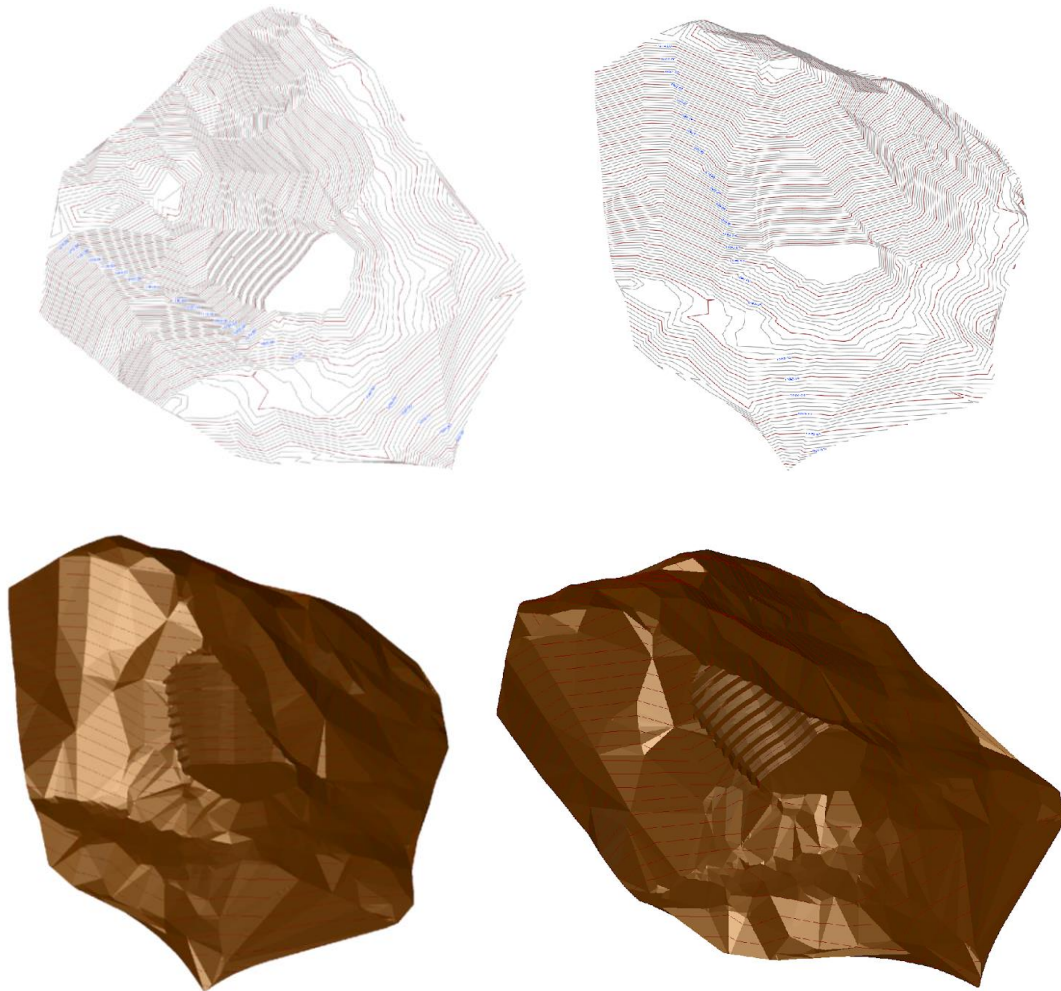
Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Fase 6

Esta última fase cuenta con un área de sección de 423.75 m^2 con una distancia de 120 m, dando un volumen de explotación de 50850 m^3 , con una plataforma de 7509.87 m^2 para maniobra de maquinaria.

Figura 36.

Sexta fase de explotación.



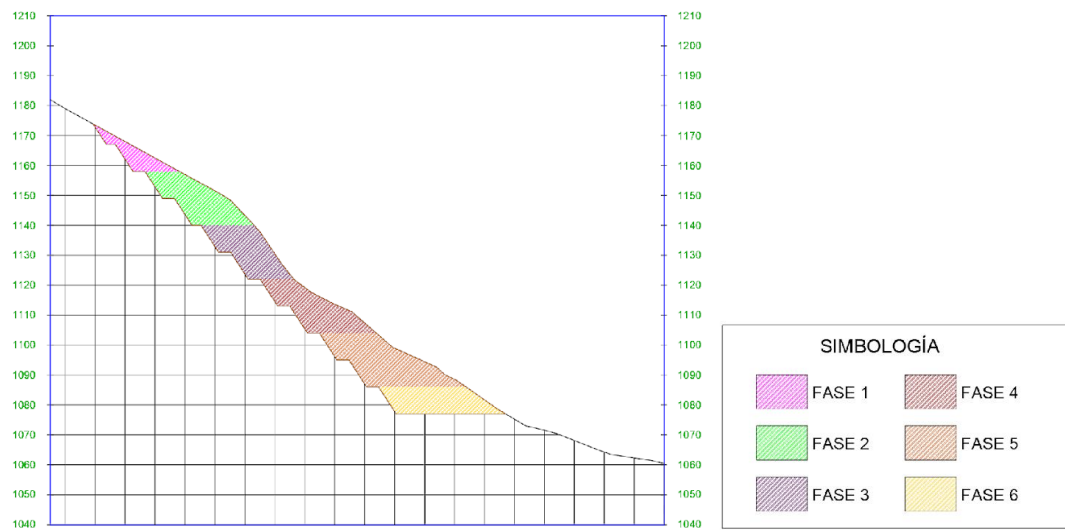
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Resumen de extracción

Se tiene una explotación total de 189029.82 m^3 en las 6 fases de explotación, en la figura 3.10, se tiene la secuencia de explotación, que va desde las coordenadas 788544.680, 9677146.921 hasta 788695.535, 9677008.113.

Figura 37.

Grafica sobre la explotación total del proyecto



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se muestra un resumen del volumen de extracción de las 6 fases de explotación detalladas con anterioridad.

Tabla 11.

Resumen del volumen de extracción de las 6 fases.

Fases	Área promedio de retiro de material (m ²)	Distancia media (m)	Volumen de retiro de material (m ³)
1	63.47	40	2538.80
2	215.86	60	12951.30
3	277.64	80	22211.04
4	424.25	80	33939.68
5	665.39	100	66539.00
6	423.75	120	50850.00
VOLUMEN TOTAL			189029.82

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. Proceso

En el presente capítulo se procedió a realizar un análisis de los valores obtenidos para el diseño de explotación, sus respectivas fases de explotación, su vida útil, entre otros parámetros.

4.1. Resultados obtenidos en el proceso del diseño de explotación

En el capítulo anterior se realizó el diseño de explotación del proyecto minero Rosario “II”, que consta de un método de explotación a cielo abierto con un sistema de extracción de material en bancos descendentes. Por lo que, fue necesario obtener los valores de los parámetros más importantes que tiene un diseño de cantera, los cuales se resumen en la tabla 12.

Tabla 12.

Datos obtenidos para el diseño de explotación del proyecto minero “Rosario II”

PARÁMETROS	DATOS	
Profundidad de la cantera	125 m.s.n.m	
Altura del banco	9 m	
Ángulo de talud de los bancos	57 °	
Número de bancos	14	13 bancos con una altura de 9 m
		1 banco con una altura de 8m
Plataforma de trabajo	22 m	

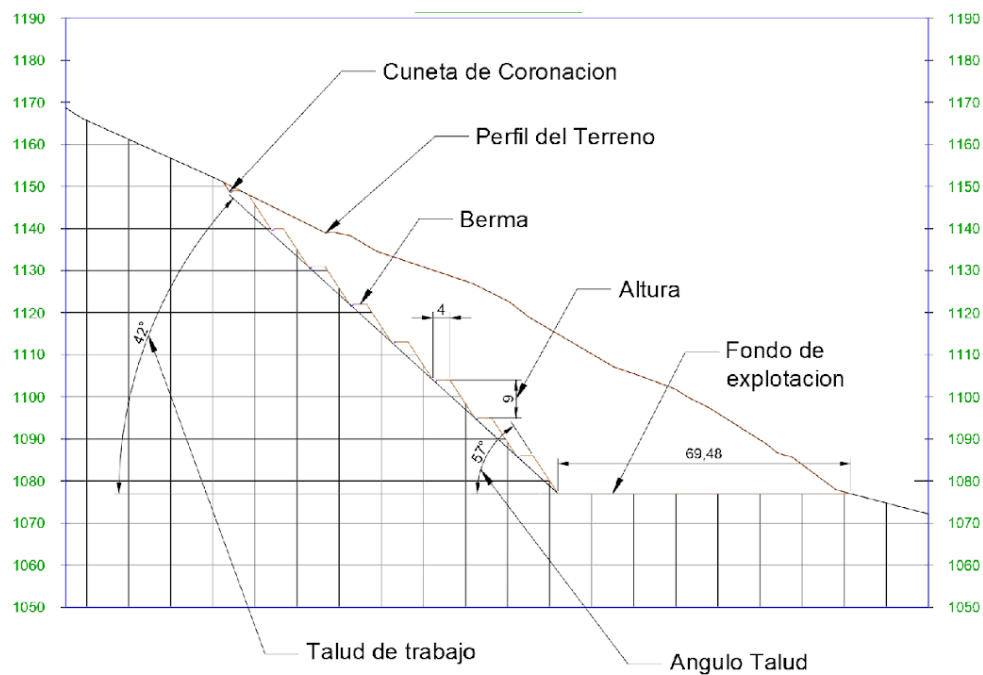
Ancho de amontonamiento	2.5 m
Espacio de maniobra de las excavadoras	4,5m
Ancho de la vía	8.75 m
Berma de seguridad	4 m
Cuentas de desagüe	40 cm de ancho
	40 cm de alto

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Parámetros del diseño de explotación

Figura 38.

Dimensiones del diseño de explotación para el proyecto “Rosario II”



Fuente: Elaboración propia

4.2. Vida útil de la cantera

Para establecer el tiempo de explotación de la cantera o la vida útil, fue necesario considerar dos parámetros muy importantes y estos son: los días laborables al año, y el volumen de extracción.

4.2.1. Días laborables al año:

Para la producción del proyecto minero “Rosario II” se incluye un total de 5 días laborables a la semana, un promedio de 22 días al mes, con un horario de trabajo de 8 horas diarias.

4.2.2. Volumen de extracción

La mina tiene un volumen de extracción diaria de 180 m³, por lo cual, el proyecto presenta un volumen de extracción de 3960 m³ al mes.

Tabla 13.

Parámetros para la estimación del volumen de extracción

Parámetros	Valor	Unidad
Días laborables al año	264	Días
Volumen de extracción diario	180	m ³ /día
Volumen de extracción anual	47520	m ³ /anual

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, se procedió a determinar la vida útil del proyecto “Rosario II”, a partir de la siguiente ecuación

$$Vu = \frac{Re}{Pa} \quad (11)$$

Donde:

- $Vu = \text{vida util de la cantera}$
- $Re = \text{Reservas explotables}$
- $Pa = \text{Produccion anual}$

$$Vu = \frac{189029.82 (m^3)}{47520 (m^3/año)}$$

$$Vu = \frac{189029.82}{47520} \text{ año}$$

$$Vu = 3.98 \text{ años}$$

La vida útil de cantera es de 3 años con 11 meses y 23 días.

Tabla 14.

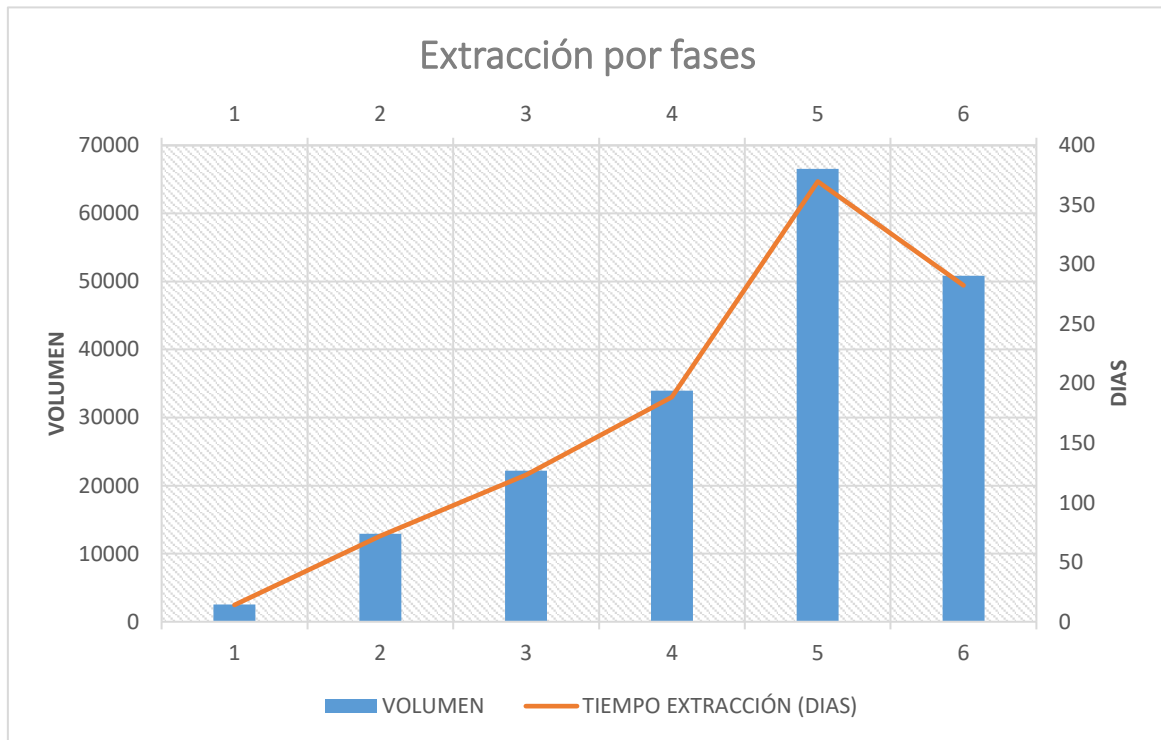
Resumen de extracción por fases del proyecto minero.

Resumen de extracción por fases			
Fase	Volumen	T ext por días	T ext por mes
1	2538.8	14	0.64
2	12951.3	72	3.27
3	22211.04	123	5.61
4	33939.68	189	8.57
5	66539	370	16.80
6	50850	283	12.84

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39.

Grafica de valores representando el volumen y el tiempo de extracción de material de cada fase.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Dimensionamiento de la maquinaria

La maquinaria disponible para el uso exclusivo de la concesión minera "Rosario II" se compone de un tractor de orugas Caterpillar D6D, una excavadora Caterpillar 320 D y una cargadora de ruedas 966M, la cantera no se encarga del transporte del material, debido a que, los compradores se encargan del mismo.

4.3.1. Maquinaria de arranque

La maquinaria destinada para el arranque del material de lastre es un tractor de orugas Caterpillar D6, el cual está disponible totalmente para su uso en el área.

Figura 40.

Descripción de la técnica maquinaria de arranque.

Peso	22 t	Longitud de transporte	5.436 m
Anchura transporte	2.54 m	Altura de transporte	3.172 m
Anchura orugas	610 mm	Velocidad	11.7 km/h
Velocidad de marcha atrás	11.7 km/h	Ancho de placa forntal	3.312 m
Fabr. del motor	Caterpillar	Modelo de motor	C9.3B
Rendimiento de motor	161 kW	Cilindrada	9.3 l
cilindro Diámetro x carrera	115x149 mm	Nivel de emisión	Tier 4 F/ V
Tipo de hoja	###	Presión del suelo	###
Tipo de transmisión	###	Fuerza de empuje máx.	###
Medidas l x a x n	###	Revoluciones	###
Par máximo	###	N° de cilindros	###

Fuente: (Catálogo Bulldozer CAT 320D, 2017)

Figura 41.

Tractor de orugas



Fuente: (CAT, 2014)

Además, según informes del operador del equipo, se tienen las siguientes consideraciones:

- Cambio de aceite: 10 galones cada 250 horas.
- Consumo de diésel: 4.5 galones por hora.

4.3.2. Maquinaria de arranque

La maquinaria destinada para el carguío que también puede servir de arranque del material de lastre es una excavadora hidráulica Caterpillar 320 D montada en orugas.

Tabla 15.

Descripción de la técnica maquinaria de arranque y carguío.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
Peso	21.5	T
Ancho de la cuchara	1	M
Cuchara colmatada	1.2	m3
Capacidad de la cuchara	1	m3
Cilindrada	6.4	L
Revoluciones	1800	Rpm
Fuerza de excavación	106	kN
Altura máxima de corte	9370	Mm
Aceite del motor	25	L

Fuente: Elaboración propia

Figura 42.

Maquinaria de arranque y carguío.



Fuente: (CAT, 2018).

Además, según informes del operador del equipo se tienen las siguientes consideraciones:

- Cambio de aceite: 6,6 galones cada 250 horas.
- Consumo de diésel: 4 galones por hora.
- Costo de la maquinaria: \$ 115.000

- Vida útil: 20000 h

4.3.3. *Maquinaria de carguío*

La maquinaria destinada para el carguío es una cargadora de ruedas 966M.

Figura 43.

Descripción de la técnica maquinaria de carguío

Peso	23.22 t	Neumáticos estándar	26.5-25
Ancho cuchara	3.2 m	Capacidad cuchara	4.4 m ³
Capacidad de la pala min.	4.4 m ³	Tipo de dirección	KL
Longitud de transporte	7.289 m	Anchura transporte	3.009 m
Altura de transporte	3.522 m	Velocidad	39.5 km/h
Altura de vertido máx.	2.991 m	Radio de torneado exterior	7.64 m
Fabr. del motor	Caterpillar	Modelo de motor	C9.3 Acert
Rendimiento de motor	232 kW	Cilindrada	9.3 l
Revoluciones	1200 rpm	Par máximo	1618 Nm
Nivel de emisión	Tier 4	Consumo medio de combustible	###
Rango de consumo de combustible (min - max)	###	Capacidad de la pala max.	###
Potencia elevac.	###	Model Series	###
Medidas l x anxa	###	N° de cilindros	###
cilindro Diámetro x carrera	###		

Fuente: (CAT, 2019).

Figura 44.

Maquinaria de carguío.



Fuente: (CAT, 2019).

Características adicionales

- Consumo de diésel: 5 galones por hora

- Consumo de aceite: 6.47 galones cada 300 horas
- Costo de la maquinaria: \$ 110.000
- Vida útil: 15000 h

4.4. Requerimientos de personal

De acuerdo con los equipos calculados, es posible deducir la necesidad del siguiente personal operativo:

- 1 operador de tractor de orugas.
- 1 operador de excavadora.
- 1 operador cargadora.
- 2 personal administrativo (Contabilidad, atención al cliente).

Adicionalmente, para complementar el personal no operativo necesario para el normal desarrollo de la cantera, se requerirán:

- 1 inspector de cantera.
- 1 ingeniero en minas.
- 1 guardia de seguridad.

Número total de personal requerido: 8 personas.

Capítulo 5

FACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.1. Egresos

Todos los costos que se produce desde la extracción, acarreo y venta del material son desembolsados por la mina, por eso en este capítulo se analizará la rentabilidad económica de la cantera, se debe tener en cuenta que la empresa minera ya cuenta con la maquinaria de arranque y carguío del material, por lo tanto, solo se tendrá en cuenta los gastos de mantenimiento y combustible de la maquinaria.

5.1.1 Costos de producción

Se detallarán los costos de la extracción del material, mantenimiento de la maquinaria que posee la cantera, costos administrativos que incluye sueldo del personal y mano de obra necesaria para la extracción del material.

- **Mantenimiento de maquinaria**

Para el mantenimiento de la maquinaria se tomaron en cuenta los siguientes aspectos importantes: Combustible, cambio de aceite, refacciones y mano de obra. Estos costos se pueden divisar en la tabla 14.

Tabla 16.*Costos de mantenimiento de la maquinaria.*

Mantenimiento de maquinaria (mensual)						
Equipo	combustible		Aceite		Refacciones y mano de obra	Total
Tractor de orugas D6D	US\$	821.30	US\$	211.20	US\$ 400.00	US\$ 1,432.50
Excavadora hidráulica 320 D	US\$	730.05	US\$	139.40	US\$ 400.00	US\$ 1,269.45
Cargadora de ruedas 966M	US\$	912.56	US\$	113.87	US\$ 400.00	US\$ 1,426.43
TOTAL, ANUAL					US\$ 49,540.58	
VIDA UTIL (3.98 años)					US\$ 197,171.52	

Fuente: Elaboración propia

- **Requerimiento de personal**

Para el correcto desarrollo de las actividades mineras dentro de la cantera, en función de los requerimientos de producción, número de quipos de arranque y carga, así como, personal de seguridad y de asesoría técnica, se requiere de 8 personas que laborarán directamente durante la ejecución y avance del proyecto.

Tabla 17.*Egresos salariales del personal de trabajo*

Cuadro de egresos salariales			
Denominación		Salario (mensual)	TOTAL AÑO
1 Ing en minas	Técnico	US\$ 800.00	US\$ 9,600.00
3 Obrero	Operario de maquinaria	US\$ 2,100.00	US\$ 25,200.00
1 Contabilidad	Administrativo	US\$ 600.00	US\$ 7,200.00
1 Supervisor	Supervisor	US\$ 700.00	US\$ 8,400.00
1 Secretaria	Actividades Administrativas	US\$ 500.00	US\$ 6,000.00
1 Seguridad	Guardia de seguridad	US\$ 500.00	US\$ 6,000.00
		US\$ 5,200.00	
Total, Primer Año			US\$ 62,400.00
Vida útil (3.98 años)			US\$ 248,352.00

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Gastos

Instalaciones

Los costos involucrados para la construcción y ubicación de instalaciones fijas y móviles dentro del área minera corresponden a la construcción de un cubeto para el almacenamiento de combustibles y aceites de la maquinaria, contenedores de clasificación y letrina sanitaria con costos unitarios detallados a continuación.

Tabla 18.

Costo total de las instalaciones involucradas en el proyecto minero.

COSTO DE INSTALACIONES	
Almacenamiento de combustible	US\$ 1,000.00
Caseta para control de seguridad	US\$ 1,000.00
Contenedores de clasificación	US\$ 500.00
Equipos de oficina	US\$ 3,000.00
Caseta de equipo administrativo	US\$ 10,000.00
COSTO TOTAL	US\$ 15,500.00

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Egresos totales

Con los datos anteriores podemos determinar los egresos de la cantera durante la vida útil de la misma, que es de 3.98 años.

Tabla 19.

Egreso total del proyecto minero

Egresos del proyecto			
	Mensual	Anual	Vida Útil
Maquinaria	US\$ 4,128.38	US\$ 49,540.58	US\$ 197,171.52
Personal	US\$ 5,200.00	US\$ 62,400.00	US\$ 248,352.00
Instalaciones	-	-	US\$ 15,500.00
TOTAL			US\$ 461,023.52

Fuente: Elaboración propia

5.2 Ingresos

5.2.1 Precio de venta de material

El valor del m³ de feldespatos va a depender de la calidad de este, el valor se ha fijado en US\$ 12.5 el m³.

Tabla 20.

Precio de venta del material extraído del proyecto minero

Venta de material por m3		US\$ 12.50
Fase	Volumen (m3)	Ingreso por ventas
1	2538.8	US\$ 31,735.00
2	12951.3	US\$ 161,891.25
3	22211.04	US\$ 277,638.00
4	33939.68	US\$ 424,246.00
5	66539	US\$ 831,737.50
6	50850	US\$ 635,625.00
TOTAL		US\$ 2,362,872.75

Fuente: Elaboración propia

5.3 Rentabilidad económica

Para determinar la rentabilidad económica del proyecto es necesario tener en cuenta los ingresos y egresos de la mina, con los datos anteriores podemos determinar la ganancia o pérdida.

$$\begin{aligned}
 \text{Rentabilidad económica} &= \text{ingresos} - \text{egresos} \quad (12) \text{ Rentabilidad económica} \\
 &= \text{US\$ } 2'362.872,30 - \text{US\$ } 461.023,52 \text{ Rentabilidad económica} \\
 &= \text{US\$ } 1'901.848,78
 \end{aligned}$$

5.4 Flujo de caja

Para poder tener una visión clara de la liquidez de la cantera, es necesario realizar un flujo de caja con los cálculos que se obtuvo en este capítulo. Esta herramienta nos permitirá tener una información clara de manera anual durante la vida útil de la cantera.

Tabla 21.*Flujo de caja económico del proyecto minero "Rosario II"*

Flujo de caja económico				
Venta de material	US\$ 12.50 m ³			
	2024	2025	2026	2027
Volumen explotado	47520	47520	47520	46469.82
Saldo inicial de Caja	US\$ -			
Ingreso por ventas	US\$ 594,000.00	US\$ 594,000.00	US\$ 594,000.00	US\$ 580,872.75
TOTAL INGRESOS	US\$ 594,000.00	US\$ 594,000.00	US\$ 594,000.00	US\$ 580,872.75
Egresos				
Salarios	US\$ 62,400.00	US\$ 62,400.00	US\$ 62,400.00	US\$ 61,152.00
Arranque / carguío	US\$ 49,540.58	US\$ 49,540.58	US\$ 49,540.58	US\$ 48,549.78
Instalaciones	US\$ 15,500.00	US\$ 0.00	US\$ 0.00	US\$ 0.00
TOTAL EGRESOS	US\$ 127,440.58	US\$ 111,940.58	US\$ 111,940.58	US\$ 109,701.78
Flujo de caja económico	US\$ 466,559.42	US\$ 482,059.42	US\$ 482,059.42	US\$ 471,170.97
SALDO FINAL CAJA	US\$ 466,559.42	US\$ 948,618.83	UD\$ 1,430,678.25	US\$ 1,901,848.78

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Para determinar el volumen que se va a explotar, se definieron un total de 9 secciones a una distancia de 20 metros entre sí, teniendo un volumen de explotación de 189026.94 m³.

En el diseño de explotación se determinó un total de 11 bancos con una altura de 9 metros con un ángulo de talud de 57°, se cuenta con bermas de seguridad de 4 metros y para el desagüe se estableció cunetas de desagüe.

La vida útil de la mina se determinó en 3.98 años, teniendo en cuenta una explotación diaria de 180 m³ por día.

En los ensayos de sísmica de refracción, se pudo evidenciar 2 tipos de material con una velocidad promedio de 190 m/s, correspondiente a la capa vegetal y el otro tipo de material con una velocidad promedio de 930 m/s que corresponde a roca de base fractura y fragmentada.

El factor de seguridad en condiciones de trabajo donde exista escasa cantidad de agua es de 2.2, y en ambientes donde el material este saturado de agua el factor es de 1.89, por lo tanto, en ambas condiciones el factor de seguridad adecuado para realizar labores dentro de la mina.

El precio de venta del material es de 12.50 US\$/m³, dando una recaudación de ingreso bruto de US\$ 2'362.836,75 de lo cual se tendrá egresos de US\$ 461,023.52, dando como resultados que la cantera tenga una utilidad de US\$ 1'901.813,23.

RECOMENDACIONES

Al momento de realizar el levantamiento topográfico, es necesario establecer puntos de control, ya que estos mismos puntos nos ayudaran para el replanteo cuando se esté en labores de explotación de material.

Los puntos de control deben de estar en lugares visibles y debidamente señalizados, ya que estos son fundamental para que el diseño de la cantera se lo realice de manera óptima.

Es necesario implementar nueva señalética mientras se esté en la fase de explotación, para precautelar la seguridad del personal que labora en la mina.

Se debe implementar un plan de cierre de mina cuando las labores de explotación hayan finalizado, el cierre de mina debe involucrar una revegetación de la zona para la recuperación de las condiciones ambientales iniciales.

Durante la explotación de la mina, todo el personal debe contar con los equipos de protección personal e implementar la señalética adecuada para evitar posibles accidentes laborales.

Para la implementación de las cunetas de desagüe, estas deben de ser impermeabilizadas para que no exista acumulación de agua y posibles deslizamientos tanto a corto, mediano y largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, X. (2018). *Planeamiento minero y diseño de explotación para materiales de construcción en el libre aprovechamiento San Gerardo de la parroquia Mariano Moreno*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Armijos, J. (2017). *Estado gravimétrico de la transversal meridional de la cordillera de los Andes, con fines de evaluación tectónica y profundidad cortical del basamento. Tramo la Mana-Ambato-el Puyo*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Balboa, J., & Núñez, S. (2022). *“Diseño de explotación a cielo abierto para la extracción de material puzolánico en la mina Chancahuán, Colta –Chimborazo*. Cuenca.
- Belandria, N. (2007). *Caracterización de macizos rocosos*. GIGA.
- CAT. (2014). CAT. Obtenido de Tractores Topadores:
https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/dozers.html
- CAT. (2018). CAT. Obtenido de
https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/excavators/medium-excavators/1000032620.html
- CAT. (2019). CAT. Obtenido de Cargadora de ruedas 966M:
<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/CM20190214-44806-22861>
- Ceron, J., & Olalla, A. (28 de 07 de 2015). *SCRIBD*. Obtenido de Trabajo de geologia formacion Napo: <https://es.scribd.com/document/291755825/Trabajo-de-Geologia-Formacion-Napo>

Feijoo, A. (2021). *Análisis geomecánico del macizo rocoso que conforma los taludes del sector la Era-San Bernabé, Catamayo-Loja*. Cuenca: Universidad del Azuay.

Feijoo, A. (2021). *Análisis geomecánico del macizo rocoso que conforma los taludes del sector la Era-San Bernabé, Catamayo-Loja*. Cuenca: Universidad del Azuay.

Feijoo, E., & Padrón, J. (2020). La resistividad de rocas y su relación con la resistencia a compresión simple en mina. *UNIVERSIDAD, CIENCIA y TECNOLOGÍA*, 24(99).

González, A., & Martínez, P. (2022). *Caracterización geomecánica de suelos y rocas*.

Obtenido de

https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2899/course/section/2824/6.2.%20Clasificaciones%20geomecánicas_Revisado_OCW.pdf

Guailacela, J. (2008). *Estudio geológico de suelos en el sector de Nanguipa Alto – Zumbi*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.

Herbert, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Herrera, J. (2007). *Diseño de explotaciones de cantera*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Herrera, J. (2017). *Introducción a la minería*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.

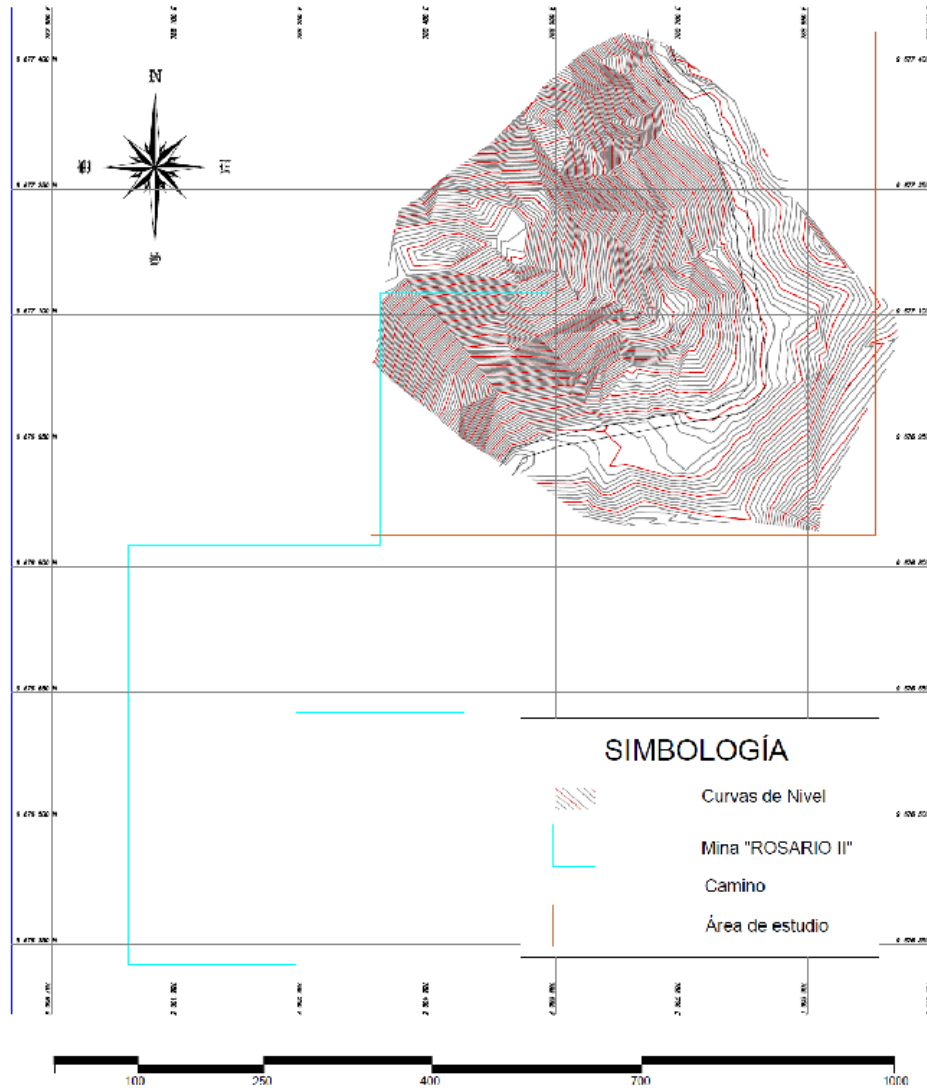
Matute, L. (2013). *Estudio geológico y geotécnico Mina El Rosario II*. RASTER INGENIERIA DE PROYECTOS.

- Morán Coello, H., & Moyano Bohórquez, F. (1998). *Corte Geológico de las formaciones cretácico-terciarias en el frente de cabalgamiento Andino entre Morona y Santiago*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Moyano , B., & Moran, C. (1998). *Corte Geológico de las formaciones cretácico-terciarias en el frente de cabalgamiento Andino entre Morona y Santiago*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Ordóñez, D. (2021). *Estudio de evaluación Mina "El Rosario"*. Limón.
- Osorio, O. (2012). La gran minería... ¿beneficios o perjuicios? *Investigador Cedetrabajo Colombia. Oro*, 3(12), 45. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4223048.pdf>
- Pérez, E. (2005). *Estabilidad de taludes*. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica .
- Razo, J. (2018). *Diseño de Minas a cielo abierto*. Obtenido de Apunte Minería: [https://www.usc-cl/usuario/88e17214fbd3bc896935dca577cbaec1/mi_blog/r/Apunte_Mineria_Rajo_Abierto.pdf](https://www.usc.cl/usuario/88e17214fbd3bc896935dca577cbaec1/mi_blog/r/Apunte_Mineria_Rajo_Abierto.pdf)
- Recalde, E., & Morante, F. (2009). Metodología de planificación minera a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en la cantera Pifo. *ResearchGate Logo*, 8. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28793570_Metodologia_De_Planificacion_Minera_A_Corto_Plazo_Y_Disenio_Minero_A_Mediano_Plazo_En_La_Cantera_Pifo
- Rivera, M., Piedra, R., & Paripanca, Y. (2016). Ensayos geofísicos de refracción sísmica y de medición de ondas de corte (MASW y MAM) para usos de

- cimentación en obras de edificaciones. *CIVIL(8)*. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/18630/18868/>
- Saguay, C. (2016). *Factibilidad técnica económica minera de la explotación de feldespatos en la concesión minera Rosario IICódigo 100217.1*. Macas: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Soria, D. (2016). *Diseño de explotación de la cantera río Granobles, ubicada en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Vargas, C. (2001). *Guía minero ambiental*. Ministerio de energía y minas- Ministerio del ambiente.
- Vintimilla, A. (2011). *Análisis de la estabilidad del cerro Shishio mediante el empleo de técnicas numéricas*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Yepes, V. (2019). *Poli(Blogs)*. Obtenido de Medición del grado de fracturación de un macizo rocoso: el índice RQD: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/07/30/medicion-del-grado-de-fracturacion-de-un-macizo-rocoso-el-indice-rqd/>
- Zambrano, D. (2016). *Diseño de explotación de la cantera río Granobles, ubicada en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento topográfico de la mina "Rosario II"



CUADRO DE COORDENADAS

MINA "ROSARIO II"

PUNTO	COORDENADAS UTM WGS84		DISTANCIA (METROS)
	X	Y	
P.P.	788240.66	9676325.9	P.P. - 1 200
1	788040.66	9676325.9	1 - 2 500
2	788040.66	9676825.9	2 - 3 300
3	788340.66	9676825.9	3 - 4 300
4	788340.66	9677125.9	4 - 5 200
5	788540.66	9677125.9	5 - 6 300
6	788540.66	9677425.9	6 - 7 200
7	788740.66	9677425.9	7 - 8 500
8	788740.66	9676925.9	8 - 9 300
9	788440.66	9676925.9	9 - 10 300
10	788440.66	9676625.9	10 - 11 200
11	788240.66	9676625.9	11 - P.P. 300

ZONA 17 SUR



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería en Minas



PROYECTO:

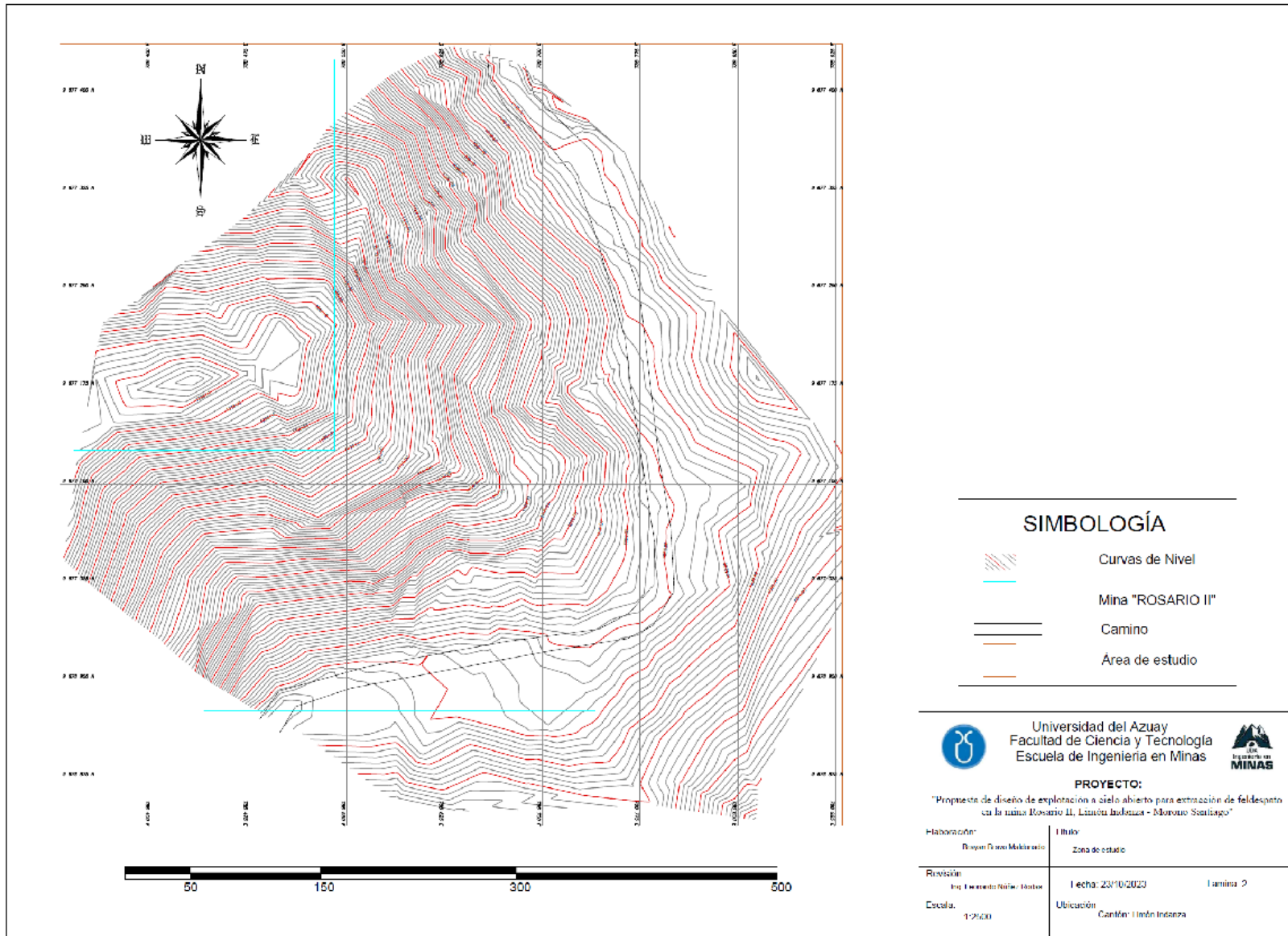
"Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Llaneta Indígena - Morona Santiago"

Laboración: *Alvaro Bravo Maldonado* Título: Levantamiento Topográfico de la Mina "ROSARIO II"





Revisión: *Ing. Leonardo Nolasco Pareda* Fecha: 23/10/2023 Hoja: 1 de 1



Escala: 1:5000 Ubicación: Cantón: Llaneta Indígena

Anexo 2. Zona de estudio



SIMBOLOGÍA

-  Curvas de Nivel
-  Mina "ROSARIO II"
-  Camino
-  Área de estudio

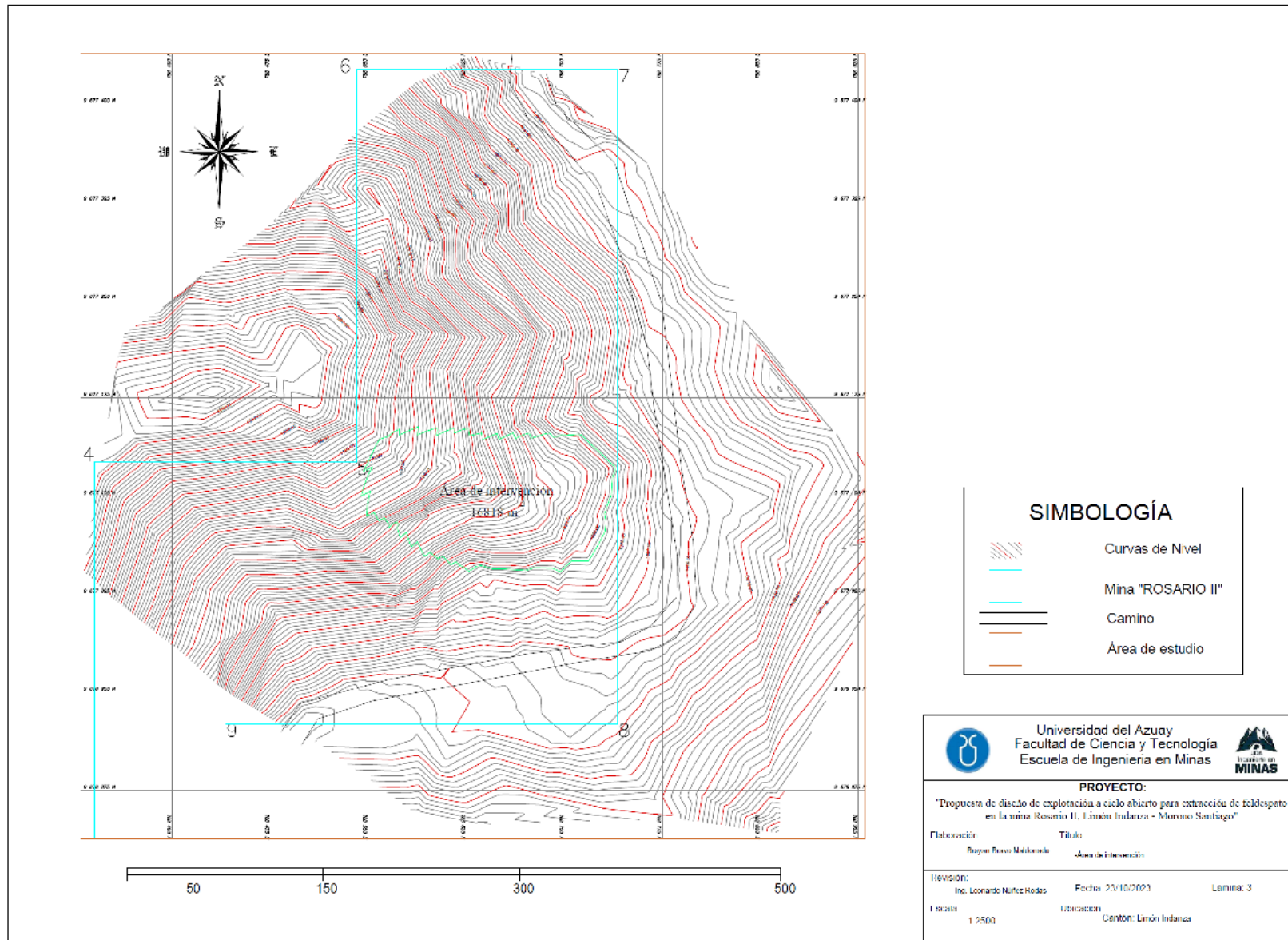

 Universidad del Azuay
 Facultad de Ciencia y Tecnología
 Escuela de Ingeniería en Minas
 

PROYECTO:

"Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Linares Indígenas - Morona Santiago"

Elaboración: Diego Flores Maldonado	Título: Zona de estudio
Revisión: Ing. Leonardo Núñez Ibarra	Fecha: 23/10/2023
Escala: 1:2500	Ubicación: Cantón: Linares Indígenas
	Lamina: 2

Anexo 3. Área de intervención

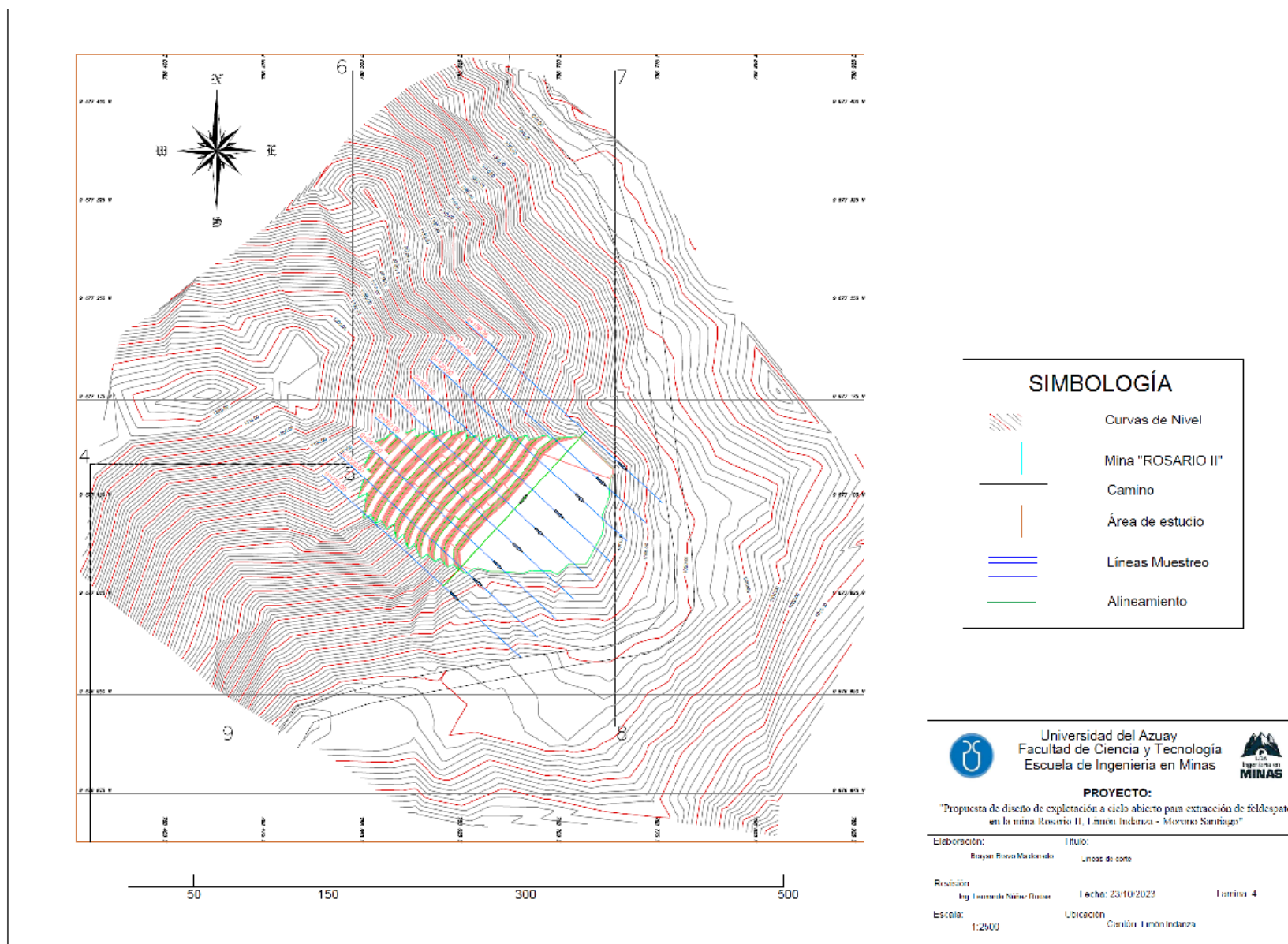


SIMBOLOGÍA

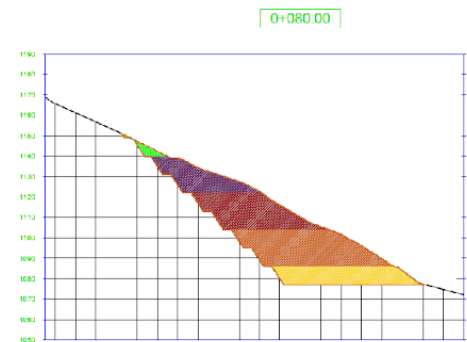
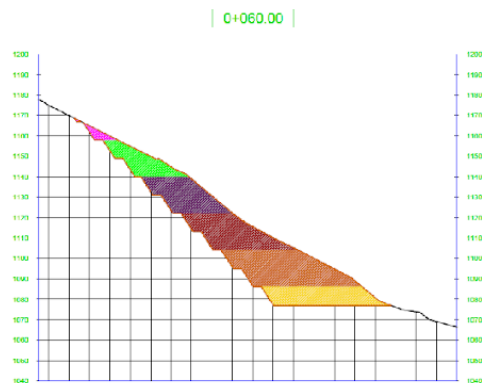
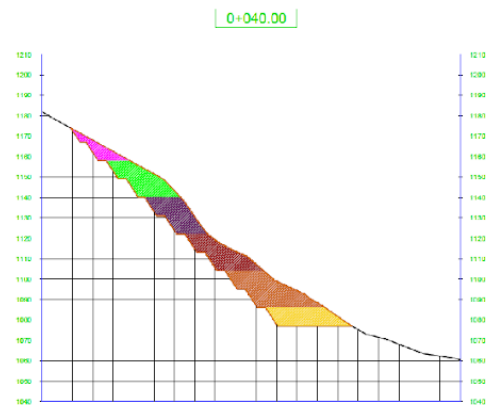
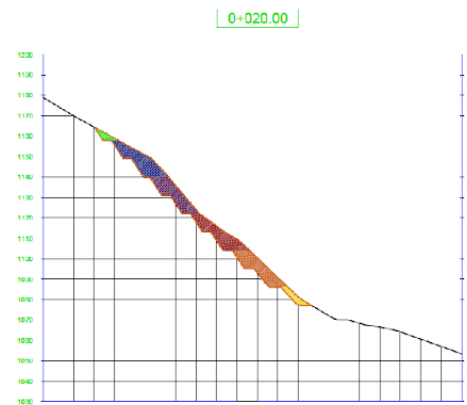
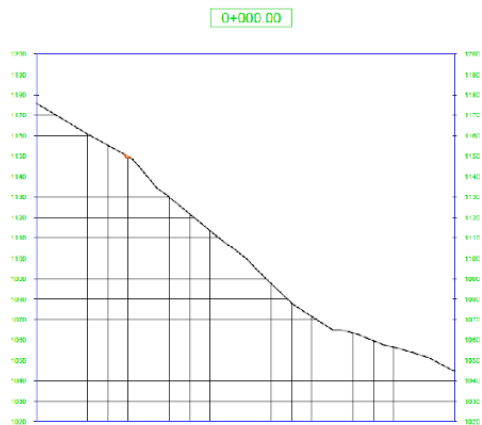
-  Curvas de Nivel
-  Mina "ROSARIO II"
-  Camino
-  Área de estudio

 Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería en Minas		 ESCUELA DE MINAS
PROYECTO:		
"Propuesta de diseño de explotación a ciclo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Limón Indanza - Morona Santiago"		
Elaborador:	Título:	
Rosario Bravo Maldonado	Área de Intervención	
Revisión:	Fecha:	Lamina:
Ing. Leonardo Núñez Rodas	25/10/2023	3
Escala:	Ubicación:	
1:2500	Canton: Limón Indanza	







Anexo 4. Cortes para determinar el cálculo de reservas



Anexo 5. Fases a explotar



SIMBOLOGÍA

	FASE 1		FASE 4
	FASE 2		FASE 5
	FASE 3		FASE 6

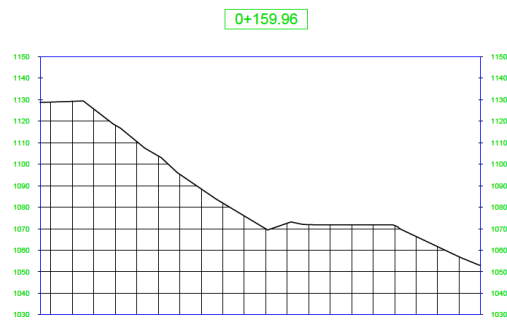
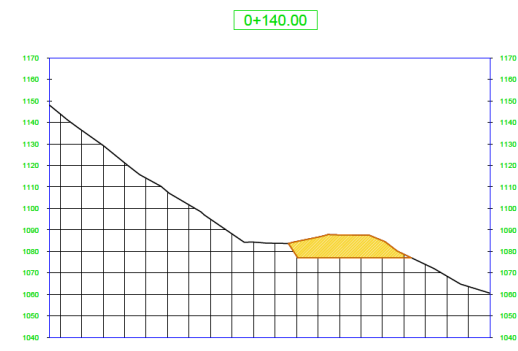
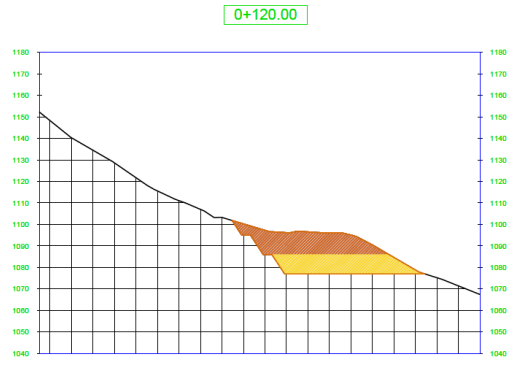
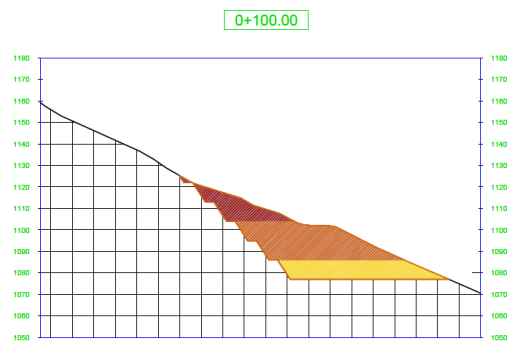


Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería en Minas



PROYECTO:
"Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Limón Indanza - Morona Santiago"

Elaboración: Hrayan Bravo Maldonado		Título: Fases de la sección a explotar	
Revisión: Ing. Leonardo Muñoz Rodas		Fecha: 23/10/2023	Lamina: 6
Escala Horizontal Escala Vertical: 1:2000		Ubicación: Cantón: Limón Indanza	



FASES	ÁREA DE RETIRO DE MATERIAL								
	PERFIL 0+000.00	PERFIL 0+020.00	PERFIL 0+040.00	PERFIL 0+060.00	PERFIL 0+080.00	PERFIL 0+100.00	PERFIL 0+120.00	PERFIL 0+140.00	PERFIL 0+159.96
1		22.95	119.69	47.77					
2		177.88	325.97	312.62	46.95				
3		158.44	296.24	476.05	451.6	5.86			
4		164.94	319.83	582.28	742.66	311.34			
5		167.17	461.74	843.08	1025.97	906.47	587.91		
6		38.99	294.4	469.81	578.11	597.11	532.81	455.06	

FASES	ÁREA PROMEDIO DE RETIRO DE MATERIAL (m2)	DISTANCIA MEDIA (m)	VOLUMEN DE RETIRO DE MATERIAL (m3)
1	63.47	40	2538.80
2	215.855	60	12951.30
3	277.638	80	22211.04
4	424.21	80	33936.80
5	665.39	100	66539.00
6	423.76	120	50850.69
VOLUMEN TOTAL			189026.94

SIMBOLOGÍA

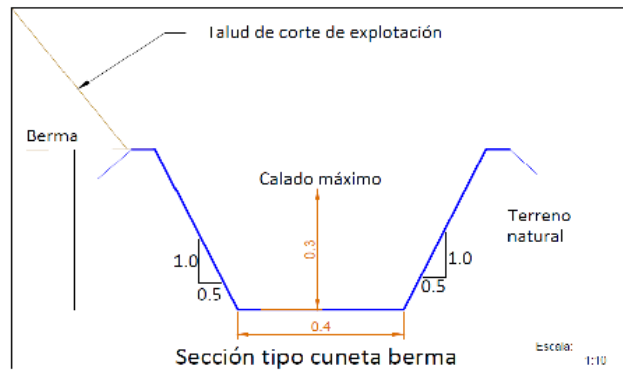
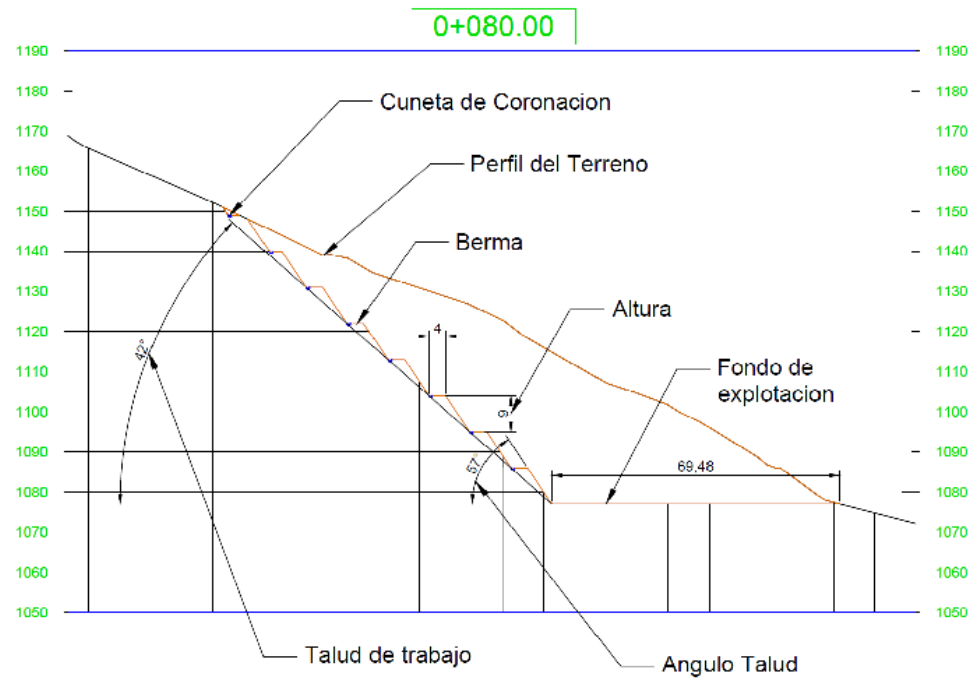
FASE 1	FASE 4
FASE 2	FASE 5
FASE 3	FASE 6

Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería en Minas

PROYECTO:
"Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Limón Indanza - Morono Santiago"

Elaboración: Brayan Bravo Maldonado	Título: - Fases de la sección a explotar - Reporte de volúmenes
Revisión: Ing. Leonardo Núñez Rodas	Fecha: 23/10/2023 Lamina: 6
Escala Horizontal Escala Vertical 1:2000	Ubicación: Cantón: Limón Indanza

Anexo 6. Características del diseño de explotación



		
PROYECTO:		
"Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto para extracción de feldespato en la mina Rosario II, Limón Indanza - Morona Santiago"		
Elaboración: Rogay Rivera Maldonado	Título: Perfil del diseño de explotación - Cuenca	
Revisión: Ing. Leonardo Nolasco	Fecha: 23/10/2023	Lamina: /
Escala Horizontal: Escala Vertical: 1:2000	Ubicación: Cantón Limón Indanza	

Anexo 7. Geotecnia

Se realizó la exploración geotécnica del sitio de explotación de la mina, por medio de la extracción de muestras de suelos residuales localizados hacia el noreste del frente de explotación, y el levantamiento geomecánico de macizos rocosos con la finalidad de realizar la clasificación geomecánica con metodologías como RMR Bieniawski 1973. A continuación, se presenta un esquema de ubicación de los puntos de extracción y de levantamiento geomecánico, y una tabla con las coordenadas. A los puntos de levantamiento geomecánico se los denotará como RMR y a los de extracción de muestras como T, ambos acompañados de sus subíndices.



Coordenadas de ubicación de exploraciones (UTM WGS84, 17S)		
Exploración Geotécnica	Este (m)	Norte (m)
T0 (Talud 0)	788743.09	9677001.27
T1 (Talud 1)	788713.09	9677044.64
T2 (Talud 2)	788713.86	9677084.32
T3 (Talud 3)	788680.51	9677120.17
RMR1	788666.27	9677096.51
RMR2	788592.18	9677088.71
T: Talud de extracción de muestra		
RMR: Sitio de levantamiento geomecánico y clasificación geomecánica		

Los reportes de las muestras extraídas se presentan en el subcapítulo de resultados de laboratorio, y los reportes de la caracterización geomecánica en el subcapítulo Clasificación RMR (Rock Mass Rating).

Anexo 8. Resultados de laboratorio

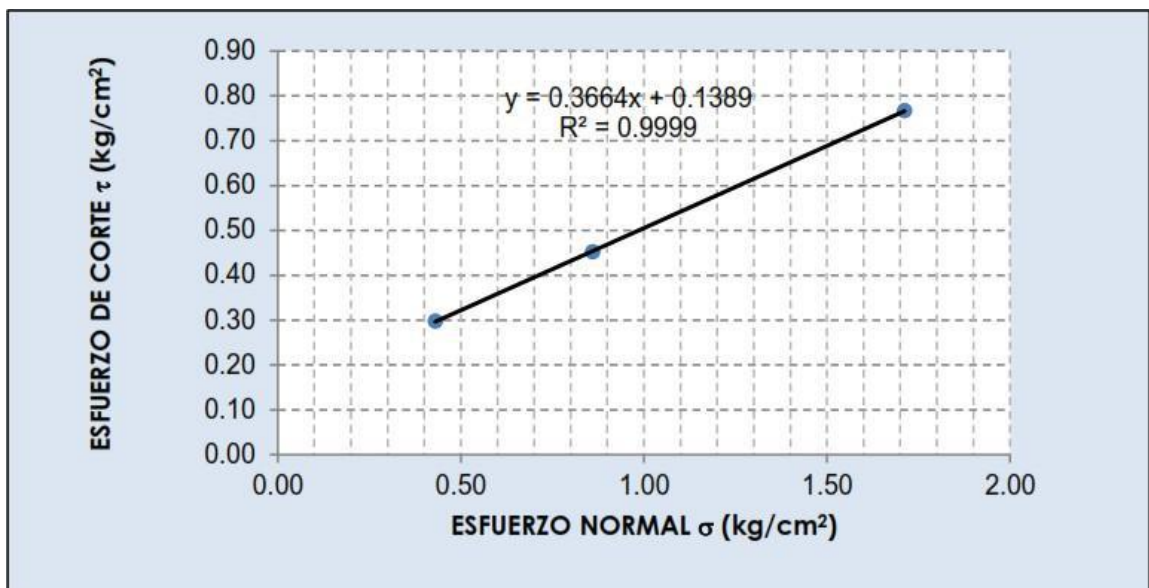
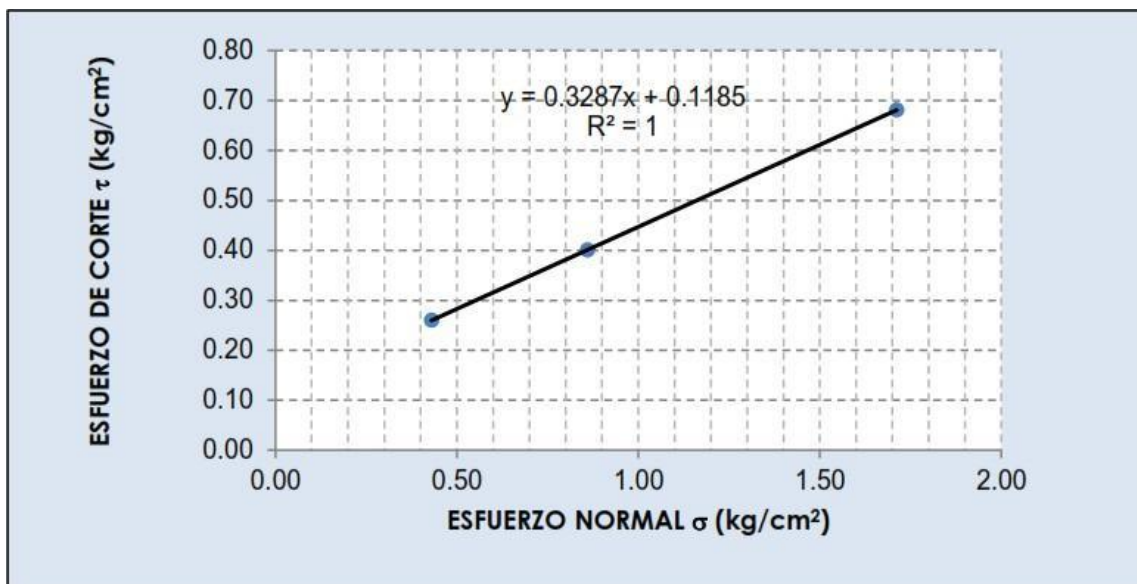
En laboratorio se realizó cuatro ensayos de clasificación de suelos a muestras obtenidas en campo, que incluye: humedad natural (ASTM D2216); análisis granulométrico (ASTM D422-63); límites de Atterberg, límite líquido (ASTM 423-66), y límite plástico (ASTM 424-59).

Obteniéndose los siguientes resultados:

MUESTRA	PROF.	GRADACIÓN			LÍMITES DE ATTERBERG				CLASIFICACIÓN	
		Grava	Arena	Finos	LL	LP	IP	Humedad	SUCS	AASHTO
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Talud 0 T0	0.50	0	19	81	37.76	20.24	17.52	15.01	CL	A-6 (14)
Talud 1 T1	0.50	0	55	45	25.87	23.64	2.23	14.48	SM	A-4 (0)
Talud 2 T2	0.50	0	40	60	27.26	21.41	5.85	16.48	CL - ML	A-4 (2)
Talud 3 T3	0.50	0	54	46	27.45	23.57	3.88	15.44	SM	A-4 (0)

Ensayo de Corte Directo

El ensayo de corte directo nos proporciona los parámetros de resistencia al corte del suelo residual presente ciertas zonas de la mina, sobre todo en la cobertura del sector noreste del frente de explotación. El ensayo es regido por la normativa ASTM D-3086, y se ensayaron las muestras extraídas en el punto T1 y T2, clasificadas según SUCS como SM y CL-ML, respectivamente. Adicional se obtiene el peso específico del material. A continuación, se presenta el resumen de resultados del ensayo:



Area (cm ²)	Carga (kg.)	Resistencia obtenida (kg./cm ²)
17.35	2733	158

Anexo 9 Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso de la zona de estudio se optó por la clasificación de Bieniawski (RMR de Bieniawski), a la vez basada, en los levantamientos geomecánicos del macizo rocoso realizado en el sitio. Esta clasificación fue desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permiten a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles.

1	Resistencia de la matriz Rocosa (MPa)	Ensayo de Carga Puntual	>10	10-abr	04-feb	02-ene	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión Simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25-may	05-ene	< 1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		100% - 90%	90% - 75%	75% - 50%	50% - 25%	< 25%		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre Diaclasas		> 2m	20%	0.6 - 0.2 m	0.2 - 0.06 m	< 0.06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las Discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno Duro < 5 mm	Relleno Duro > 5 mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
Alteración	Ninguna	Ligeramente Alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta				
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
		Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros geomecánicos: Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.

- Grado de fracturación en términos del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass rating, que varía de 0 a 100. Para aplicar la clasificación RMR se divide el macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

Dirección y Buzamiento		Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy Desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Una vez obtenidas las puntuaciones que resultan de aplicar los cinco parámetros de clasificación, se efectúa la corrección por orientación de discontinuidades y se obtiene un valor numérico con el que se clasifica finalmente el macizo rocoso.

Clase	Calidad	Puntuación	Cohesión	Ángulo de Fricción
I	Muy Buena	100 - 81	> 4 kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg/cm ²	35 - 45°
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg/cm ²	25 - 35°
IV	Mala	40 - 21	1 - 2 kg/cm ²	15 - 25°
V	Muy Mala	< 20	< 1 kg/cm ²	< 15°

Así, un macizo rocoso clasificado como Muy Bueno (Clase I), será un macizo rocoso duro, poco fracturado, sin filtraciones importantes y poco meteorizado, presentando muy pocos

problemas frente a su estabilidad y resistencia. Se puede deducir que tendrá una capacidad portante alta, permitirá la excavación de taludes con altas pendientes y no precisará medidas de estabilización y refuerzo en túneles. (Boroschek K. & Retamales S., 2000).

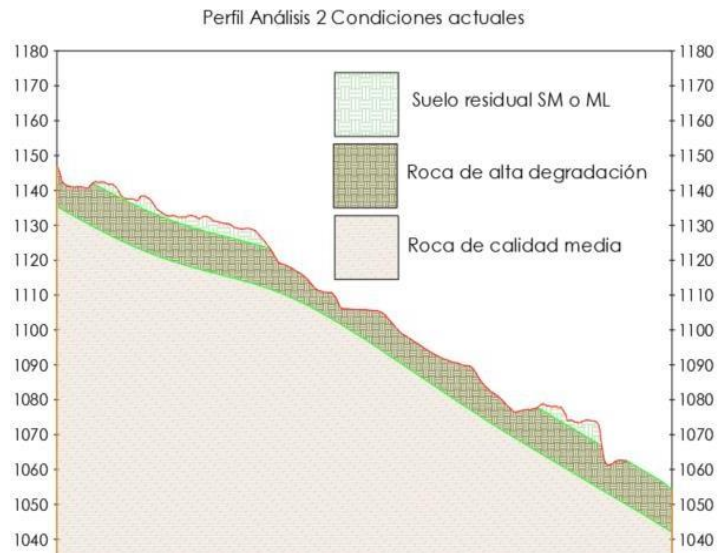
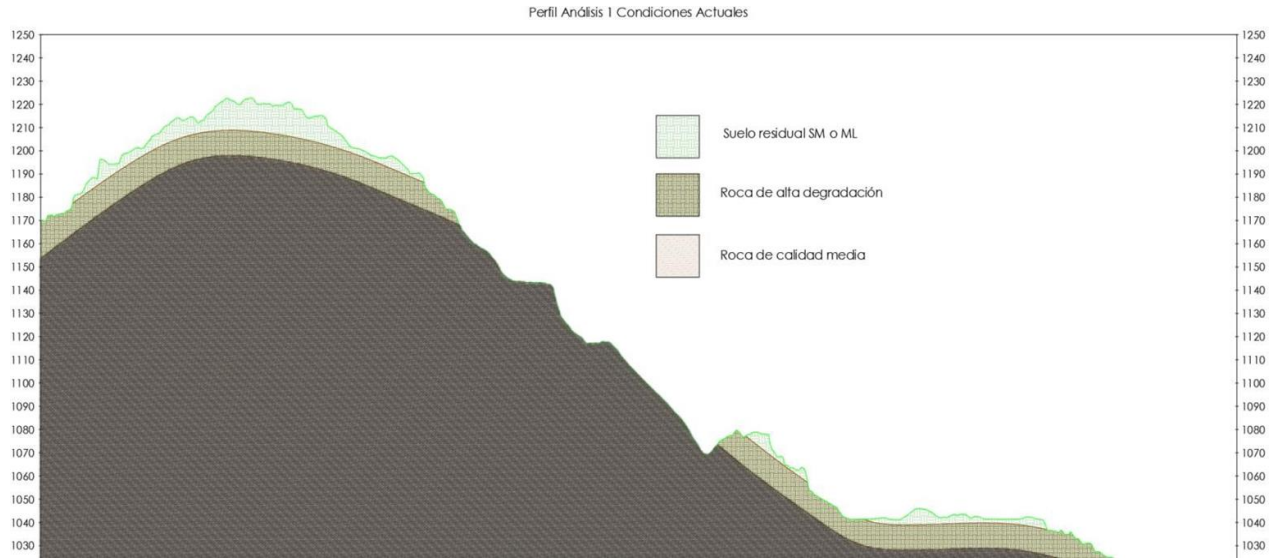
En la zona de estudio se realizó la calificación RMR en dos sitios; una dio como resultado una puntuación de 44 y otro 58 en ambos casos se corresponden a la calidad media. El detalle de los cálculos y estimaciones del RMR se presenta en el anexo correspondiente a Clasificación RMR de Bieniawski.

Anexo 10. *Análisis y determinación de parámetros geotécnicos*

En función de los resultados de laboratorio y de la exploración geotécnica realizada, se determina que, en el zona de explotación se presentan tres materiales como preponderantes, que se describen de abajo hacia arriba: una roca de calidad media con un RMR entre 44 y 58, que se estima posea una potencia de 15 m y que se observa mayoritariamente en el centro de explotación, donde se ha intervenido mayoritariamente; una roca muy meteorizada localizada en la zona noreste de la mina, donde no se ha ejecutado mayor explotación, y esta se localiza hasta los 4 m de profundidad; y un suelo residual de color blanco que dependiendo de su nivel de degradación se clasifica como una arena limosa SM, o como un limo de baja compresibilidad ML.

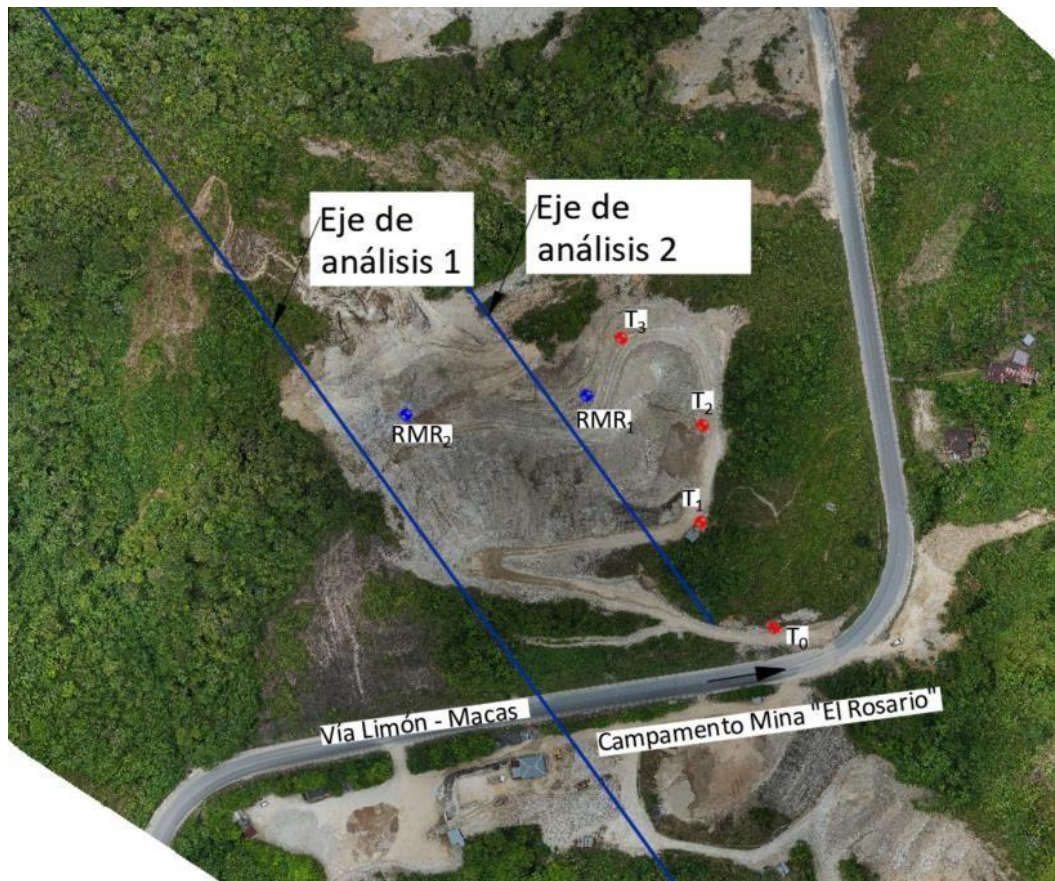
Para el análisis de la estabilidad actual de la mina, y la estabilidad luego de ejecutar la propuesta de explotación, se han ejecutado dos perfiles geotécnicos de análisis, donde se detallan los materiales señalados. En el perfil de análisis 1, puede observar que, en la zona que representa el perfil, actualmente ya se encuentra removida la roca muy meteorizada, y en los taludes de corte de la explotación, se observa la roca de calidad media, la cual fue evaluada por medio de la clasificación RMR. Se ha detallado que se espera que la roca de calidad media tenga una potencia de 15 m, sin embargo, en el perfil se observa que se mantiene en todo el cuerpo de la montaña, lo

cual, se considera como medida de seguridad para el cálculo de estabilidad, entendiendo que luego de los 15 m, se podría encontrar una roca sana, es decir con una mayor calidad.



En el perfil de análisis 2 se puede observar una mayor presencia de la roca de alta degradación, lo cual, se debe a que en esta zona el nivel de explotación es menor.

A continuación, se presenta un esquema de ubicación en planta de los ejes en función de los cuales se obtuvieron los perfiles de análisis:



Para los materiales del sitio que se presentan en los perfiles de análisis, se obtienen los correspondientes parámetros geomecánicos de corte para la ejecución de los distintos cálculos geotécnicos. A continuación, se presenta un detalle de la determinación y estimación de parámetros para los materiales o suelos mencionados en el párrafo anterior:

- Para el suelo residual se asumen los parámetros mecánicos en función de los ensayos de corte directo. Asumiendo los parámetros de corte de la muestra Talud 01 (T1) con una cohesión de 0.12 kg/cm^2 (1200 kg/m^2), un ángulo de

fricción interna de 16° , y un peso específico de 1672 kg/m^3 .

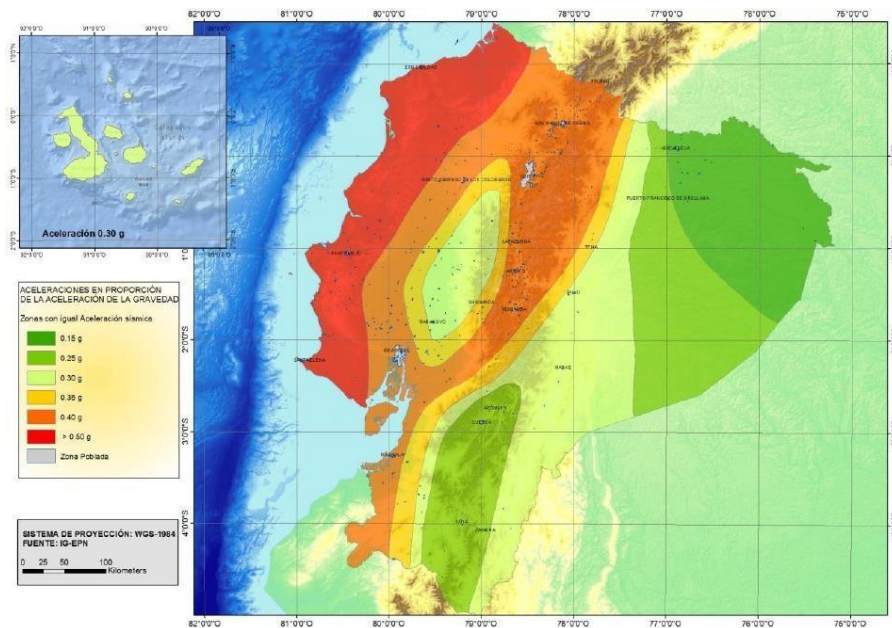
- Para la roca muy meteorizada se asumen los parámetros mecánicos obtenidos en el estudio realizado previo a la explotación de la mina. Con una cohesión de 50 kN/m^2 (5098 kg/m^2), un ángulo de fricción interna de 35° , y un peso específico de 20 kN/m^3 (2039 kg/m^3).
- Para la roca de calidad media se asumen los parámetros mecánicos en función de la calificación RMR, asumiendo los parámetros promedio del rango recomendado para una roca de calidad media ($c=2-3 \text{ kg/cm}^2$; $f=15-25^\circ$) (Tabla 14), con una cohesión de 2.5 kg/cm^2 (25000 kg/m^2) y un ángulo de fricción interna de 20° . Adicional para esta roca se asume el peso específico determinado en el estudio previo de la mina con un valor de 2345 kg/m^3 , y determinado en función de los resultados de la geofísica.

A continuación, se presenta una tabla con el resumen de los parámetros geotécnicos obtenidos para el suelo:

Parámetro	Unidad	Suelo residual	Roca muy meteorizada	Roca de calidad media
Peso específico	(kg/m^3)	1672	2039	2345
Cohesión C	(kg/m^2)	1200	5098	25000
Ángulo de fricción interna	$^\circ$	16	35	20

Anexo 11. Identificación de la zona sísmica

El sitio donde se emplazará el proyecto corresponde a una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizadas por el valor del factor de zona Z, de acuerdo al mapa de aceleración máxima en roca presentado en la NEC-15 (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015), el mismo que presenta la aceleración máxima en roca en un período de retorno de 475, período aplicable para estructuras e implantaciones convencionales de acuerdo a la norma.

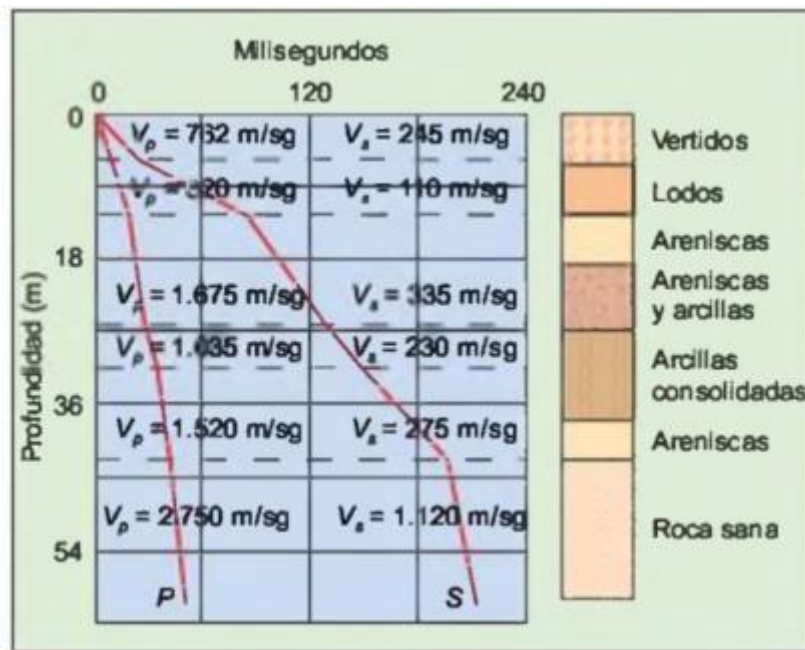


Los efectos locales de la respuesta sísmica de la zona de estudio deben evaluarse en base a los perfiles de suelo. Para ello, se deberá considerar el factor de amplificación F_a propuesto en la NEC 15 (Norma Ecuatoriana de la construcción) para distintos perfiles de suelo, es decir, pasar del PGA_{roca} a PGA_{suelo} .

La norma define seis tipos de perfil de suelo. Los parámetros empleados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E.

Para el caso de estudio, la definición del tipo de perfil de suelo se realiza empleando la velocidad de onda vs obtenida a partir de la velocidad de onda v_p de los ensayos de geofísica. Para la obtención de la onda vs se considera una relación ($v_p/v_s=3$). La constante de 3, se obtiene al

relacionar los valores referenciales de v_p y v_s presentados en la gráfica a continuación para distintos tipos de materiales:



Con la velocidad de onda v_p de 1040 m/s, para la capa de roca degradada que correspondería al material que se observa actualmente en la explotación, se obtiene un valor v_s de 347 m/s, al utilizar la correlación de $v_p/v_s=3$. Y con lo cual se determina que el tipo de perfil del sitio es D, al cual le corresponde un rango de v_s entre 180 y 360. La medida adoptada se encuentra del lado de la seguridad, dado que, en la explotación de la mina se retirará el material con velocidades de onda baja, es decir los suelos residuales, y el perfil a considerar luego de la explotación incluso sería el de una roca sana.

