



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

Estudio geológico - geotécnico del bloque de explotación de la concesión
minera “RENACER M3 CODIGO 101602”, mina “ORO SOL”, ubicada en la
provincia de Azuay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo.

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

AUTOR:

Edison Geovanny Bacuilima Tene

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2023

Educamos para Transformar



Certificación

Loja, 08 de junio de 2022

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Estudio geológico - geotécnico del bloque de explotación de la concesión minera “RENACER M3 CODIGO 101602”, mina “ORO SOL”, ubicada en la provincia de Azuay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo.”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del señor **Edison Geovanny Bacuilima Tene con cédula de identidad Nro. 1150109310**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Autoría

Yo, **Edison Geovanny Bacuilima Tene**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

Firma

Cédula: 1150109310

Fecha: 10 /05/2023

Correo electrónico: egbacuilimat@unl.edu.ec

Teléfono: 0981264675



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

Yo, **Edison Geovanny Bacuilima Tene** , declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico - geotécnico del bloque de explotación de la concesión minera “RENACER M3 CODIGO 101602”, mina “ORO SOL”, ubicada en la provincia de Azuay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo** como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

Para constancia de esta autorización, a los diez días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Edison Geovanny Bacuilima Tene

Cédula: 1150109310

Dirección: Daniel Alvares, José de san Martin y Francisco Santander

Correo Electrónico: egbacuilimat@unl.edu.ec

Teléfono: 0981264675

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc



Dedicatoria

Con esfuerzo y sacrificio el presente trabajo está dedicado a mi familia que han sido un pilar fundamental durante mi formación académica especialmente a mi madre por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de toda mi vida, a mis hermanas Merly y Karina y mi hermano Byron por su apoyo, comprensión y gran cariño que me han brindado para seguir adelante.

A mis amigos que me acompañaron y ayudaron en esta etapa y a mis docentes que me han apoyado a mi formación tanto profesional como ser humano.

Edison Bacuilima



Agradecimiento

Agradezco principalmente a mi familia que han estado apoyándome a lo largo de mi etapa estudiantil los cuales son un pilar fundamental para conseguir cada uno de mis logros.

Agradezco también de manera muy especial al Ing. Stalin Paladines, director de este Trabajo de Titulación el cual me guio y apoyo con sus conocimientos durante cada etapa del desarrollo de esta investigación.

Además, agradezco al ingeniero Alberto Salazar representante del Área Minera Renacer M3, por abrirme las puertas de sus instalaciones y brindarme el apoyo necesario para lograr desarrollar este trabajo.

Edison Bacuilima



Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización.	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	x
Índice de figuras:	xiii
Índice de cuadros:	xv
Índice de Anexos:	xvi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Topografía	6
4.1.1. División de la topografía.....	6
4.1.2. Tipo de levantamiento.....	7
4.1.3. Escala	8
4.1.4. Diferencias entre mapa y plano topográficos.....	8
4.2. Geología	9
4.2.1. Clasificación litológica	9
4.2.2. Clasificación de las rocas según su origen.....	10
4.2.2.1. Rocas ígneas.	10
4.2.2.2. Rocas sedimentarias.	10
4.2.2.3. Rocas metamórficas.....	11
4.2.3. Principios fundamentales de geología	12
4.3. Geología estructural	12
4.3.1. Roca	13



4.3.2.	Mineral.....	13
4.3.3.	Macizo rocoso.....	13
4.3.4.	Petrografía y petrología.....	14
4.4.	Discontinuidades.....	14
4.4.1.	Diaclasas.....	14
4.4.2.	Discordancias.....	15
4.4.2.1.	Tipo de discordancias.....	15
4.4.3.	Fallas.....	16
4.4.3.1.	Clasificación de fallas.....	16
4.4.4.	Pliegues.....	18
4.4.5.	Planos de estratificación.....	18
4.4.6.	Planos de foliación.....	18
4.5.	Geotecnia.....	18
4.6.	Propiedades mecánicas de las discontinuidades.....	19
4.7.	Caracterización del macizo rocoso.....	20
1.1.1.	Condiciones de la masa rocosa.....	20
4.8.	Clasificación geomecánica.....	20
4.8.1.	Clasificación de Bieniawski “RMR”(1984).....	21
4.8.2.	Clasificación de Barton (1974).....	21
4.8.3.	La clasificación GSI (Geological Strength Index).....	22
4.9.	Martillo Schmidt (Esclerómetro).....	22
4.10.	Proyección Estereográfica.....	23
4.11.	Sostenimiento con estructuras naturales y artificiales.....	24
4.11.1.	Estructuras naturales.....	24
4.11.2.	Estructuras artificiales.....	25
5.	Materiales y métodos.....	28
5.1.	Materiales.....	28
5.2.	Metodología.....	28
5.2.1.	Primer objetivo.....	28
5.2.2.	Segundo objetivo.....	31
5.2.3.	Tercer objetivo.....	35
6.	Resultados.....	51
6.1.	Ficha técnica.....	51
6.2.	Ubicación y acceso.....	51



6.2.1.	Ubicación	51
6.2.2.	Acceso.....	53
6.3.	Levantamiento topográfico	54
6.3.1.	Levantamiento topográfico superficial	54
6.3.2.	Topografía subterránea	57
6.4.	Geología	60
6.4.1.	Geología regional.....	60
6.4.1.1.	Grupo Saraguro.....	61
6.4.1.2.	Formación Las Trancas	62
6.4.1.3.	Unidad Pallatanga.....	62
6.4.1.4.	Unidad Rio Frio.....	62
6.4.1.5.	Rocas Intrusivas y sub-volcanicas.....	62
6.4.1.6.	Depósitos superficiales Coluviales.....	63
6.4.1.7.	Geología estructural.....	63
6.4.2.	Geología local	64
6.4.2.1.	Geología subterránea: descripción de la litología de la galería del bloque de explotación.....	67
6.4.2.2.	Descripción macroscópica de las muestras de mano.....	71
6.4.2.3.	Estructuras y mineralización	78
6.5.	Caracterización geomecánica del macizo rocoso.....	81
6.5.1.	Análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de las rocas	81
6.5.1.1.	Densidad y Peso Específico.....	81
6.5.1.2.	Resistencia a compresión simple.....	82
6.5.1.3.	Resistencia a la tracción.	83
6.5.2.	Determinación de las características del macizo rocoso.....	83
6.5.3.	Análisis cinemático	92
6.5.3.1.	Análisis de los tramos mediante estereogramas	92
6.5.3.2.	Análisis tridimensional mediante software Unwedge.....	96
7.	Discusión.....	113
8.	Conclusiones.....	115
9.	Recomendaciones.....	117
10.	Bibliografía.....	118
11.	Anexos.....	120



Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación general de ingeniería de los diversos materiales litológicos.....	9
Tabla 2. Clasificación de la resistencia según la ISRM.....	23
Tabla 3. Materiales de campo y oficina utilizados.....	28
Tabla 4. ficha de descripción de afloramientos.....	32
Tabla 5. Afloramientos descritos de la mina.....	32
Tabla 6. puntos de muestreo subterráneo.....	34
Tabla 7. puntos de muestras para laboratorio	36
Tabla 8. ficha de caracterización geomecánica.....	37
Tabla 9. Estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski, 1973.....	40
Tabla 10. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).....	41
Tabla 11. Número de familias de Juntas. Jn	43
Tabla 12. Rugosidad de las juntas. Jr.....	43
Tabla 13. Meteorización de las juntas. Ja	44
Tabla 14. Agua en las juntas. Jw.....	45
Tabla 15. Tensiones en la excavación. S.R.F.....	45
Tabla 16. Rango de los parámetros de Barton	46
Tabla 17. Clasificación de Barton (1974) de los macizos rocosos. Tipos de macizos rocosos	47
Tabla 18. parámetros para el cálculo del índice de Barton	47
Tabla 19. Resumen de resultados.....	48
Tabla 20. Ficha técnica de la concesión RENACER M3	51
Tabla 21. Área de la concesión minera RENACER M3.....	52
Tabla 22. Coordenadas del área de la mina “ORO SOL”	53
Tabla 23. Descripción de las infraestructuras	55
Tabla 24. Pendientes de la mina ORO SOL.....	56
Tabla 25. Descripción de galerías de labores mineras	59
Tabla 26. Resumen de la geología local	64
Tabla 27. Descripción tomada del 3er nivel a 12m desde el pozo.....	71
Tabla 28. Descripción tomada del 3er nivel a 184m desde el pozo.....	71
Tabla 29. Descripción tomada del 3er nivel a 200m desde el pozo.....	72
Tabla 30. Descripción tomada del 3er nivel a 230m desde el pozo.....	72
Tabla 31. Descripción tomada del 3er nivel a 245m desde el pozo.....	73



Tabla 32. Descripción tomada del 3er nivel a 220m desde el pozo (sobre buzón en veta mineralizada).....	73
Tabla 33. Descripción tomada del 3er nivel a 275m desde el pozo (en galería abandonada bifurcación a 150m del pozo)	74
Tabla 34. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 9m desde el pozo lado derecho.	74
Tabla 35. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 6m desde el pozo lado izquierdo	75
Tabla 36. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 125m desde el pozo	75
Tabla 37. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 145m desde el pozo (galería regresa).....	76
Tabla 38. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 179m desde el pozo	76
Tabla 39. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 167m desde el pozo	77
Tabla 40. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 198m desde el pozo	77
Tabla 41. Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 205m desde el pozo	78
Tabla 42. Resultados de ensayos de densidad y peso específico.	81
Tabla 43. Resultados de los ensayos de compresión simple.....	82
Tabla 44. Resistencia a la compresión simple mediante el martillo Schmidt.....	82
Tabla 45. Resultados de la resistencia a la tracción (Fortaleza) de las muestras	83
Tabla 46. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 1	83
Tabla 47. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 2	84
Tabla 48. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 3	84
Tabla 49. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 4	85
Tabla 50. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 5	85
Tabla 51. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 6	85
Tabla 52. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 7	86
Tabla 53. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 8	86
Tabla 54. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 9	87
Tabla 55. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 10	87
Tabla 56. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 11	87
Tabla 57. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 12	88
Tabla 58. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 13	88
Tabla 59. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 14	89
Tabla 60. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 15	89



Tabla 61. Resumen de cálculo geomecánico del tramo 16	89
Tabla 62. Resumen de la clasificación geomecánica del bloque de explotación.....	90
Tabla 63. Angulos de fricción de los tramos caracterizados.....	92



Índice de figuras:

Figura 1. Escala grafica	8
Figura 2. Diaclasa o junta	15
Figura 3. Tipo de discordancias	16
Figura 4. Falla normal.....	17
Figura 5. Falla inversa	17
Figura 6. Falla de desgarre.....	18
Figura 7. Grafico de correlación entre el esclerómetro y la resistencia a la compresión simple (MILLER, 1965).....	23
Figura 8. Zona de estudio y campamento (Mina ORO SOL).....	29
Figura 9. Levantamiento topográfico y punto de partida.....	29
Figura 10. Levantamiento subterráneo	30
Figura 11. Procedimiento de la realización del mapa de pendientes de la mina "Oro sol"	31
Figura 12. Toma de datos de afloramientos.....	31
Figura 13. Estación y obtención de muestra de roca	33
Figura 14. Levantamiento geológico interior mina	33
Figura 15. Características de las discontinuidades	35
Figura 16. Muestras subterráneas para laboratorio.....	36
Figura 17. Medición de la potencia y rugosidad de discontinuidades	36
Figura 18. Diagrama para determinar JRC y los perfiles de rugosidad.....	38
Figura 19. Clasificación y Sostenimiento Según GSI Modificado.....	42
Figura 20. Sostenimiento propuesto por Bieniawski	49
Figura 21. Valores del índice ESR (Excavación Suport Radio) de la clasificación Q	49
Figura 22. Sostenimiento según Barton	50
Figura 23. Mapa de ubicación de la concesión minera RENACER-M3	52
Figura 24. Acceso a la zona de estudio.....	54
Figura 25. Relieve de la zona de estudio	54
Figura 26. Mapa levantamiento topográfico superficial.	56
Figura 28. Representación gráfica de pendientes de la mina ORO SOL.....	57
Figura 27. Mapa de pendientes de la mina oror sol.....	57
Figura 29. Punto de partida (Boca mina)	58
Figura 30. Fortificación de hormigón en la boca mina.....	58
Figura 31. Mapa de topografía subterránea	59



Figura 32. Geología regional	61
Figura 33. Saprolito andesítico presente en los afloramientos	65
Figura 34. Stockwork de cuarzo en afloramiento.	66
Figura 35. Afloramiento de roca andesítica altamente meteorizada.....	66
Figura 36. Mapa geológico estructural superficial	67
Figura 37. Material disgregado presente en la fortificación	68
Figura 38. Cambio de rumbo de la veta.....	68
Figura 39. Galería abandonada inundada y stockwork de cuarzo	69
Figura 40. Falla de segundo orden que atraviesa las galerías del bloque de explotación.....	79
Figura 41. Muestras con Au diseminado en el bloque de explotación	79
Figura 42. Análisis macroscópico de muestra de mano con contenido de Au	80
Figura 43. Minerales de mena (pirita, galena y calcopirita) y ganga (epidota y calcita).....	80
Figura 44. Mapa de geología estructural subterráneo.....	81
Figura 45. Uso del martillo Schmidt.....	82
Figura 47. Comportamiento de macizo rocoso según las tres clasificaciones geomecánicas (RMR, GSI y Q de Barton).....	91
Figura 46. Mapa de clasificación geomecánica RMR	91
Figura 48. Estereograma del primer (a) y segundo tramo (b).....	93
Figura 49. Estereograma del tercer (a) y cuarto tramo (b).....	93
Figura 50. Estereograma del quinto (a) y sexto tramo (b)	94
Figura 51. Estereograma del séptimo (a) y octavo tramo (b)	94
Figura 52. Estereograma del noveno (a) y decimo tramo (b)	95
Figura 53. Estereograma del decimoprimer (a) y decimosegundo tramo (b)	95
Figura 54. Estereograma del decimotercer (a) y decimocuarto tramo (b)	96
Figura 55. Estereograma del decimoquinto (a) y decimosexto tramo (b)	96
Figura 56. Características de varilla microaleadas NOVACERO	158



Índice de cuadros:

Cuadro 1. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 1	97
Cuadro 2. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 2	98
Cuadro 3. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 3	99
Cuadro 4. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 4	100
Cuadro 5. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 5	100
Cuadro 6. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 6	102
Cuadro 7. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 7	103
Cuadro 8. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 8	103
Cuadro 9. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 9	105
Cuadro 10. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 10	106
Cuadro 11. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 12	107
Cuadro 12. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 13	108
Cuadro 13. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 14	109
Cuadro 14. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 15	111
Cuadro 15. Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 16	112



Índice de Anexos:

Anexo 1. Mapa de topografía superficial del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 2. Mapa de pendientes del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 3. Mapa de topografía subterránea del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 4. Mapa de muestreo superficial y subterráneo.....	120
Anexo 5. Mapa geológico estructural superficial del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 6. Mapa de geología estructural subterránea del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 7. Mapa geotécnico del área minera “ORO SOL”	120
Anexo 8. Fichas de descripción de afloramientos	121
Anexo 9. Resultados fisico-mecánicos de las muestras extraídas en campo.....	135
Anexo 10. Cálculo geomecánica mediante las metodologías de Bieniawski (RMR), GSI (índice de calidad del macizo rocoso), y clasificación de Barton.....	138
Anexo 11. Medidas de sostenimiento para la galería del bloque de explotación	155
Anexo 12. Certificación de traducción del resumen.....	159



1. Título

**Estudio geológico - geotécnico del bloque de explotación de la concesión minera
“RENACER M3 CODIGO 101602”, mina “ORO SOL”, ubicada en la provincia de
Azúay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo.**



2. Resumen

En el presente trabajo se detallan información sobre la topografía, geología a nivel superficial y subterráneo, también las características geomecánicas del bloque de explotación de la mina “Oro sol” ubicada en la provincia de Azuay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo. El trabajo busca como objetivo principal el estudio geomecánica de la mina “Oro sol” para poder determinar su estabilidad y de este modo evitar problemas geotécnicos como son deslizamientos o el desplome de galerías subterráneas entre otros problemas, provocando impactos negativos a la mina y sus trabajadores, y de estos resultados proponer posibles medidas de fortificación o sostenimiento, para proporcionar estabilidad si es que se requiere en algún sector dentro de la mina.

De esta manera se pretende dar cumplimiento a los artículos 41 y 134 del “Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero” los cuales se enfocan a planificación de las condiciones de la roca para definir los parámetros técnicos-mineros y estabilizar las galerías de explotación brindando una adecuada seguridad minera. Para determinar la geotecnia de la mina se obtuvo la topografía y geología tanto superficial como subterránea, luego se procedió a caracterizar el macizo rocoso de las galerías del bloque de explotación para proceder a dar las clasificaciones geomecánicas RMR de Bieniawski, Q de Barton y GSI, y a través del software “Dips” y “UNWEDGE” se identificaron las cuñas tetraédricas con riesgo a deslizarse o desprenderse (caída libre) para las que se propone medidas de sostenimiento según sean necesarias.

Palabras Claves: Topografía, Caracterización geomecánica, minería subterránea, Sostenimiento, bloque de explotación.



2.1. Abstract

In the current work, information is detailed on the topography, geology at the surface and underground level, as well as the geomechanical characteristics of the exploitation block of the "Oro sol" mine located in the Azuay province, Camilo Ponce Enríquez canton, San Gerardo sector. The work seeks as its main objective the geomechanical study of the "Oro sol" mine in order to determine its stability and thus avoid geotechnical problems such as landslides or the collapse of underground galleries among other problems, causing negative impacts to the mine and its workers, and from these results propose possible fortification or support measures, to provide stability if required in any sector within the mine.

In this way, it is intended to comply with articles 41 and 134 of the "Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero" which focus on planning the conditions of the rock to define the technical-mining parameters and stabilize the exploitation galleries providing adequate mining safety. To determine the geotechnics of the mine, the topography and geology of both the surface and underground were obtained, then the rock mass of the galleries of the exploitation block was characterized to proceed to give the RMR geomechanical classifications of Bieniawski, Q of Barton and GSI, and through the "Dips" and "UNWEDGE" software, the tetrahedral wedges at risk of slipping or detaching (free fall) were identified for which support measures are proposed as necessary.

Keywords: *Topography, geomechanical characterization, underground mining, support, exploitation block.*



3. Introducción

En el Ecuador debido a su ubicación geográfica y condiciones geológicas hace que sea un país privilegiado con la presencia de varios yacimientos minerales tanto metálicos como no metálicos formándose varios distritos mineros distribuidos alrededor del territorio.

En el distrito minero Ponce Enríquez en el sector San Gerardo se ubican varios proyectos dedicados a la actividad minera entre los cuales se encuentra la concesión minera Renacer M3 de la que se ha considerado uno de sus contratos mineros determinado "Oro Sol" para la realización del presente trabajo recaudando información para mejorar el proceso de las actividades mineras desarrolladas en dicha mina, enfocándose principalmente a la geotecnia del macizo rocoso del bloque de explotación.

La geotecnia es parte importante para el desarrollo de unas adecuadas actividades mineras ya que proporciona información de gran importancia acerca del comportamiento y estado del macizo rocoso determinando sus características, de esta manera se proponen métodos de sostenimiento si se lo amerita bajo un criterio técnico, con el estudio geotécnico se pretende brindar seguridad a los trabajadores, instalaciones y un adecuado desarrollo de las actividades mineras que se desarrollan en la mina "Oro Sol"

Para este estudio se procede a la recolección de la información necesaria, iniciando con un levantamiento topográfico tanto de la superficie como subterránea, luego se realiza el mapeo de la litología y estructuras presentes en la mina.

Después se caracteriza el macizo rocoso para realizar una clasificación geomecánica como son RMR, GSI y Q de Barton. A través de estos resultados se los ingresa a un software el cual ha permitido interpretar y analizar los resultados para modelar e identificar si es necesario sostenimiento para garantizar la estabilidad y seguridad de las labores mineras.



Objetivos

Objetivo general

- Realizar el estudio geológico - geotécnico del bloque de explotación de la mina “ORO SOL”, ubicada en la provincia de Azuay cantón Camilo Ponce Enríquez sector San Gerardo.

Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento topográfico superficial y subterráneo de la mina “ORO SOL”
- Determinar las condiciones geológicas y estructurales del bloque de explotación en la mina “ORO SOL”
- Determinar la calidad del macizo rocoso mediante la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI; en el bloque de explotación de la mina “ORO SOL”.



4. Marco teórico

4.1. Topografía

(Márquez, 2008) define la topografía (del griego: topos, lugar y graphein, describir) como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación.

La topografía, en general, es una aplicación de la geometría y, por tanto, sin el conocimiento de esta ciencia, sería imposible que aquella llenara el cometido que tiene asignado.

La topografía define la posición y las formas circunstanciales del suelo; es decir, estudia en detalle la superficie terrestre y los procedimientos por los cuales se pueden representar, todos los accidentes que en ella existen, sean naturales o debidos a la mano del hombre. El medio usual de expresión es el dibujo.

La topografía se encuentra directamente relacionada con la Tierra. El estudio de la Tierra como cuerpo en el espacio le corresponde a la Astronomía; y como globo terrestre en lo que concierne a su configuración precisa y a su medida le corresponde a la Geodesia; pero el hombre tiene necesidad de algo más, de un estudio detallado de un territorio determinado de la tierra, en el cual orientará su existencia diaria. He aquí donde entra la topografía: ayuda a determinar los linderos de la propiedad, con sus divisiones interiores y diversos cultivos, las viviendas, los caminos y los ríos, los puentes, los ferrocarriles, los montes con sus valles y barrancos, los bosques, los pantanos, etc., y, en suma, todas aquellas particularidades del terreno que puedan interesar en las cuestiones que se presentan en las necesidades de la vida práctica.

4.1.1. División de la topografía

Para su estudio la topografía se la divide en tres partes:

- Topología la encargada de estudiar las leyes que rigen las formas del terreno.
- Topometría la cual establece los métodos geométricos de medida.
- Planografía que es la representación gráfica de los resultados y constituye el dibujo topográfico.



Para que sea completa la representación gráfica de una porción de la superficie terrestre, deberá contener:

- La forma general del terreno, o sea, su contorno o perímetro y los detalles interiores (construcciones, caminos, puentes, ríos, etc.).
- La diferencia de altura que guardan los puntos del terreno, unos respecto a otros;
- La superficie del terreno,

Por lo antes expuesto, se deduce que la topografía (topometría), según las operaciones que se ejecutan para representar el terreno, se divide en tres partes que son:

Planimetría que estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo.

Altimetría que determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar.

Agrimensura que comprende los procedimientos empleados para medir la superficie de los terrenos y para fraccionarlos. (Márquez, 2008)

4.1.2. Tipo de levantamiento

Los levantamientos pueden ser topográficos o geodésicos los cuales tienen sus respectivas características como son:

- **Topográficos:** son los que se extienden sobre una porción relativamente pequeña de la superficie de la Tierra que, sin error apreciable, se considera como si fuera plana. Las dimensiones máximas de las zonas representadas en los planos topográficos no superan en la práctica los 30 Km de lado, correspondientes aproximadamente a un círculo de 30 Km de diámetro, límites dentro de los cuales se puede hacer abstracción de la curvatura de la superficie terrestre. (Márquez, 2008)

Según su calidad los levantamientos topográficos se dividen en:

- Precisos, que se ejecutan por medio de triangulaciones o poligonales de precisión. Se emplean para fijar los límites entre naciones o estados, en el trazo de ciudades, etc.
- Regulares, los cuales se realizan por medio de poligonales, levantadas con tránsito y cinta. Se usan para levantar linderos de propiedades, para el trazo de

caminos, vías férreas, canales, ciudades pequeñas, etc., y en obras de saneamiento en las ciudades.

- **Geodésicos:** son aquellos que abarcan grandes extensiones y obligan a tomar en cuenta la forma de la Tierra, ya sea considerándola como una verdadera esfera, o más exactamente, como un esferoide de revolución. Estos levantamientos se salen de los límites de la topografía y entran en el dominio de la geodesia. (Márquez, 2008)

4.1.3. Escala

Es la relación lineal de semejanza entre la distancia del plano y la parte del terreno real representado en él. Esta escala se la puede representar en una relación numérica o grafica como se muestra a continuación: (Márquez, 2008)

- **Escala numérica:** Una unidad de longitud del plano corresponde a un numero determinado de la misma unidad de longitud en el terreno como puede ser: 1/1000 o 1:1000
- **Escala gráfica:** es una línea dividida en distancias del plano que corresponden a unidades de longitud en el terreno como se observa en la Figura 1. (Gayarre, 2006) a la recta se la denomina cuerpo y la longitud de cada segmento es un entero, se denomina talón a la división entre el cero y el primer segmento.

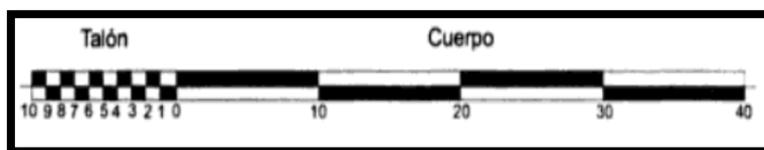


Figura 1: escala grafica

Fuente: (Gayarre, 2006)

En la cual la formula general para la escala es:

$$E = \frac{l}{L} = \frac{1}{\frac{L}{l}} = \frac{1}{M}$$

Donde:
L=longitud en el terreno
l= longitud en el plano
M= denominador de escala

En un trabajo topográfico su tolerancia o erro máximo admisible, dependerá de su escala del plano final. Por lo que a mayor detalle menor error. (Gayarre, 2006)

4.1.4. Diferencias entre mapa y plano topográficos

Los planos y mapas topográficos son una representación a escala de la superficie terrestre en sus tres dimensiones (latitud, longitud y altitud), exponen las características físicas del terreno, como son infraestructuras, caminos, bosques y ríos o quebradas. Los planos y mapas topográficos se basan en los datos que se recogen durante los levantamientos topográficos. (Vega, 2015)



Mapa: es la representación plana de una parte de la superficie terrestre en la que por su extensión y debido a la curvatura terrestre, es preciso utilizar las transformaciones cartográficas apropiadas para realizarlo. Si comprende al globo terrestre total se denomina Planisferio. (Gayarre, 2006)

Carta: se la denomina así cuando representan zonas en la que predomina los mares y los océanos.

Plano: es la representación gráfica de una parte de la superficie terrestre en la que por su pequeña extensión no es necesario el uso de transformaciones cartográficas. (Gayarre, 2006)

4.2. Geología

Geología se deriva del griego "geo" = tierra, y "logos" = tratado o conocimiento, por lo que se define como la ciencia de la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas.

Según (Beatriz, Roble, Luis, & Gonzalez., 2014) la geología es la ciencia que estudia la composición estructura y en establecer la dinámica de los procesos que tienen lugar tanto en la superficie, como en el interior de nuestro planeta

Y según (Fraga H. R., 2018) la Geología es la ciencia que estudia la estructura de la Tierra y las rocas de las que están constituidas, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie terrestre en el pasado y en el presente. El objetivo de la Geología es el estudio de la historia de la Tierra como un cuerpo dinámico.

4.2.1. Clasificación litológica

Desde el punto de vista litológico los materiales se pueden clasificar según su génesis o formación (Abramson, 1996), diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo. Las cuales se describen en la Tabla

Tabla 1: Clasificación general de ingeniería de los diversos materiales litológicos

Tipo de material	Formación	Características	Detalles prioritarios
Roca	Ígnea Metamórfica	Rocas formadas por cristales de minerales	Estructura geológica. Fracturas.
	Sedimentaria (debe definirse el tipo de roca en la forma más detallada posible).	Rocas formadas por granos cementados, depositados en capas.	Planos de estratificación.



Roca meteorizada (sapolito)	Ígnea Metamórfica Sedimentaria	Permanecen algunos rasgos de la roca, pero ésta se encuentra descompuesta, en las discontinuidades.	Estructura geológica Discontinuidades Estado de meteorización.
Suelo	Residual	Roca meteorizada en la cual ya no aparecen las características físicas de la roca.	Estructura geológica. Discontinuidades. Propiedades fisicoquímicas.
	Aluvial Coluvial. Glacial Loess	Grupos de partículas o bloques de suelo o roca.	Propiedades físicas.
Materiales heterogéneos	Roca, roca meteorizada, suelo.	Mezcla de diversos materiales en un mismo perfil.	Estructura geológica. Discontinuidades. Meteorización. Propiedades fisicoquímicas.

Fuente: (Diaz, 2009)

4.2.2. Clasificación de las rocas según su origen.

Las rocas según su origen se dividen en tres grandes grupos los cuales son sedimentarias, metamórficas e ígneas; y cada tipo de roca tiene sus características. A continuación, se describe cada uno de los tres tipos:

4.2.2.1. Rocas ígneas.

Según (Tarbuck & Lutgens, 2005) Las rocas ígneas (ignis = fuego) se forman cuando la roca fundida, denominada magma, se enfría y se solidifica. A medida que se enfría el magma, se van formando y creciendo los cristales de varios minerales. Cuando el magma permanece en el interior profundo de la corteza, se enfría lentamente durante miles de años. Esta pérdida gradual de calor permite el desarrollo de cristales relativamente grandes, estas rocas que se forman muy por debajo de la superficie se denominan plutónicas. Los núcleos de muchas montañas están constituidos por roca ígnea que se formó de esta manera, son ricas en minerales silicatados de color claro cuarzo y feldespato.

En ocasiones el magma se abre paso hacia la superficie de la Tierra. Dado que se enfría con rapidez la roca fundida se solidifica muy rápidamente y no le da tiempo para que se formen grandes cristales. Por lo que se produce la formación de muchos cristales pequeños. Las rocas ígneas que se forman en la superficie terrestre se denominan volcánicas y suelen ser de grano fino.

4.2.2.2. Rocas sedimentarias.

Según (Tarbuck & Lutgens, 2005) Los sedimentos, la materia prima de las rocas sedimentarias, se acumulan en capas en la superficie de la Tierra. Son materiales que se forman a partir de rocas preexistentes por los procesos de meteorización. Otros procesos de



meteorización descomponen la roca, es decir, modifican químicamente los minerales en otros nuevos y en sustancias fácilmente solubles en agua. El agua, el viento o el hielo glacial suelen transportar los productos de la meteorización a lugares de sedimentación donde éstos forman capas relativamente planas. Normalmente los sedimentos se convierten en roca o se litifican por uno de los dos procesos siguientes.

Los geólogos calculan que las rocas sedimentarias representan sólo alrededor del 5 por ciento (en volumen) de los 16 km externos de la Tierra. Sin embargo, su importancia es bastante mayor de lo que podría indicar este porcentaje. Si tomara muestras de las rocas expuestas en la superficie, encontraría que la gran mayoría son sedimentarias.

4.2.2.3. Rocas metamórficas.

(Tarbuck & Lutgens, 2005) detalla que las rocas metamórficas se producen a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso otras rocas metamórficas. Así, cada roca metamórfica tiene una roca madre, la roca a partir de la que se ha formado. Metamórfico es un adjetivo adecuado porque su significado literal es «cambiar la forma». La mayoría de cambios tienen lugar a temperaturas y presiones elevadas que se dan en la profundidad de la corteza terrestre y el manto superior.

Los procesos que crean las rocas metamórficas a menudo progresan de una manera incremental, desde cambios ligeros (metamorfismo de grado bajo) hasta cambios sustanciales (metamorfismo de grado alto). Además, cuando las rocas situadas a una profundidad (a la que las temperaturas son elevadas) están sujetas a una presión dirigida, se deforman de una manera gradual y generan pliegues complicados. En los ambientes metamórficos más extremos, las temperaturas se aproximan a las temperaturas de fusión de las rocas. No obstante, durante el metamorfismo la roca debe permanecer esencialmente sólida, ya que, si se funde por completo, entramos en el ámbito de la actividad ígnea.

La mayor parte del metamorfismo sucede en uno de estos tres ambientes:

- Metamorfismo térmico o de contacto: está controlado por un aumento de la temperatura
- Metamorfismo hidrotermal implica alteraciones químicas que se producen cuando el agua caliente rica en iones circula a través de las fracturas de la roca.
- Metamorfismo regional: Durante la formación de las montañas, las rocas enterradas a una gran profundidad están sujetas a las presiones y temperaturas elevadas asociadas con la deformación a gran escala denominada



4.2.3. Principios fundamentales de geología

(Beatriz, Roble, Luis, & Gonzalez., 2014) explican que existen una serie de principios fundamentales de la geología que permiten comprender muchas de las estructuras geológicas que podemos observar. Entre los que se encuentran:

1. **Principio de uniformidad de los procesos.** los procesos geológicos en el pasado han ocurrido de igual forma que en la actualidad
2. **Principio de superposición de estratos.** En una secuencia no deformada de rocas sedimentarias, la roca más antigua está en el estrato o capa más profunda y la más joven en el estrato superior.
3. **Principio de sucesión faunística.** La flora y fauna fósiles aparecen en el registro geológico con un orden determinado, pudiendo reconocerse cada periodo geológico por sus fósiles característicos.
4. **Principio de las relaciones de corte** (tectónicas o magmáticas). El estudio de las relaciones de corte entre diversas estructuras permite determinar el orden en que se han generado y por consiguiente, ordenar los procesos magmáticos o tectónicos que se han producido en una región.
5. **Principio de las relaciones de inclusión.** Permite establecer el orden relativo en los casos en los que un material contiene o engloba a otros, puesto que un fragmento de roca incluido o incorporado en otro es más antiguo que la roca huésped.
6. **Principio de desarrollo del paisaje.** Generalmente, los paisajes con mayor relieve topográfico (irregular) son más jóvenes que los de menor relieve (llanuras).

4.3. Geología estructural

Según (Iriondo, 2007) describen a la Geología Estructural como la rama de la Geología que estudia las propiedades físicas de las rocas y sedimentos, sus deformaciones y fracturas y la mecánica de las fuerzas que actúan sobre ellas.

La corteza terrestre está sometida a un complejo sistema de tensiones provocado por el movimiento de las placas de la litosfera, que se traducen localmente en tracciones, compresiones y torsiones diversas. Las rocas, como cualquier sustancia sólida, ejercen resistencia a las tensiones, pero cuando éstas son demasiado fuertes o muy prolongadas se deforman y eventualmente se fracturan. La forma en que las rocas responden a los esfuerzos depende de su naturaleza, de las presiones y temperatura a que están sometidas, a la duración de las tensiones y a otros factores.



La Geología Estructural se dedica al estudio e interpretación de las estructuras generadas en la corteza terrestre producto de movimientos propios de la dinámica terrestre, mayormente entendidos y tratados por la Tectónica de Placas.

4.3.1. Roca

Según (Oyanguren & Monge, 2004) define a la roca como una mezcla de sólidos, compuesto por uno o numerosos minerales, que está ocupando enormes extensiones de la corteza terrestre. En mecánica de rocas se habla en muchas oportunidades de roca o roca intacta para referirse a un elemento (trozo, bloque, probeta) de roca que no muestra discontinuidades observables.

En la naturaleza las rocas se muestran muy frecuentemente atravesadas por diferentes letras y números geológicos estructurales y discontinuidades de variado origen geológico, como la estratificación, esquistosidad, pliegues, fallas, y juntas o diaclasas. Al grupo de estas discontinuidades que atraviesan la roca se le acostumbra a denominar composición del macizo rocoso.

4.3.2. Mineral

Se define mineral desde un punto de vista científico o mineralógico como un compuesto químico sólido y homogéneo, de origen natural, formado como consecuencia de un proceso generalmente inorgánico, dotado de una composición química definida pero no fija y con una estructura interna ordenada.

Y desde un punto de vista minero, se lo define como una sustancia de origen natural cuya explotación origina un beneficio. (Oyanguren & Monge, 2004)

4.3.3. Macizo rocoso

Se define macizo rocoso como la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural. Así pues, un macizo rocoso estará definido por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas. (Oyanguren & Monge, 2004)

Según (Ferrer & Gonzales, 2007) lo definen al Macizo rocoso como el conjunto de roca intacta y discontinuidades. La presencia de discontinuidades de diverso tipo confiere al macizo rocoso un carácter heterogéneo y un comportamiento no continuo, condicionado por la



naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de discontinuidad, y condiciona su comportamiento geomecánica e hidráulico.

4.3.4. Petrografía y petrología

Huang describe a la petrología como la ciencia que se ocupa del estudio de las rocas que son un conjunto de minerales. Trata del modo de ocurrencia, la composición, la clasificación y el origen de las rocas, así como de sus relaciones con los procesos e historia geológicos. La petrología es, por lo tanto, una parte fundamental de la ciencia geológica que trata, como lo hace, de los materiales terrestres existentes, cuya historia es tarea de la geología descifrar.

Mientras que en la petrografía la define como la ciencia que se encarga estrictamente en la descripción de las rocas desde los puntos de vista de la textura, de la mineralogía y de la composición química, mientras que la patogénesis se ocupa del origen de las rocas.

La petrología es, sin embargo, un término más amplio, que connota el lado filosófico del estudio de las rocas e incluye tanto a la petrografía como a la patogénesis. A la petrología añade también la aplicación de los principios de la fisicoquímica a los materiales térreos de ocurrencia natural. (Huang, 2009)

4.4. Discontinuidades

(Maldonado, 2018) define a las discontinuidades geológicas o discontinuidades de las rocas como planos de debilidad que controlan, el comportamiento geomecánica de los macizos rocosos, porque condicionan el mecanismo de deformación y rotura ante los esfuerzos.

De esta manera las discontinuidades que acontecen en los macizos rocosos son planos de debilidad que pueden ser de origen mecánico o tectónico, sedimentario, enfriamiento de rocas y metamórfico, las discontinuidades independizan los bloques de matriz rocosa.

Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula, es así que, su comportamiento mecánico es caracterizado por su resistencia al corte o, en su caso, por la del material de relleno.

4.4.1. Diaclasas

Según (Fraga, Mgter, & Polare, 2020) las diaclasas o también denominadas juntas son planos o superficies que separa o tiende a separar un macizo rocoso, anteriormente continuo, en dos partes sin movimiento apreciable entre ambas, como se puede observar en la figura 2.

En las cuales se pueden identificar: diaclasas de origen tectónico y de enfriamiento como las describe (Maldonado, 2018) a continuación:

- Las diaclasas de origen tectónico suelen estar asociadas al plegamiento de las rocas (sedimentarias principalmente) y a la acción de fallas geológicas sobre cualquier tipo de roca. Las diaclasas asociadas a fallas suelen ser paralelas a las fallas, mientras que las diaclasas que se forman en plegamientos suelen ser perpendiculares a los esfuerzos tectónicos.
- Las diaclasas de enfriamiento o que se forman por el enfriamiento de los cuerpos ígneos, se forman antes o después del emplazamiento del cuerpo, suelen ser ortogonales entre sí, un ejemplo típico son las estructuras columnares de los flujos de lava



Figura 2: Diaclasa o junta
Fuente: (Ramírez, 2004)

4.4.2. Discordancias

(Parima, Parra, & Romero, 2017) la describen como una relación geométrica entre capas de sedimentos que representa un cambio en las condiciones en que se produjo su proceso de deposición. Por lo que indica un cambio de condiciones, bien sean temporales o permanentes.

4.4.2.1. Tipo de discordancias

Existen algunos tipos de discordancias y pueden tener varios orígenes un periodo orogénico, con una transgresión o regresión marina, con un cambio de facies, con un cambio climático, con un cambio faunístico o actividad tectónica que genera áreas de no depósito. Según (Parima, Parra, & Romero, 2017) existen cuatro tipos como se describen a continuación y se pueden observar en la Figura 3:

- **Discordancia angulas:** El conjunto de capas más antiguas o inferiores buzan con diferente ángulo que las más jóvenes o superiores.

- **Discordancias paralelas:** La serie inferior y superior buzcan con el mismo ángulo y la misma dirección en una superficie de erosión visible.
- **Discordancias litológicas:** Las rocas ígneas metamórficas que están expuestas a la erosión quedan cubiertas por sedimentos.
- **Discordancias erosivas:** Los estratos son paralelos por abajo y por encima de una superficie de erosión invisible.

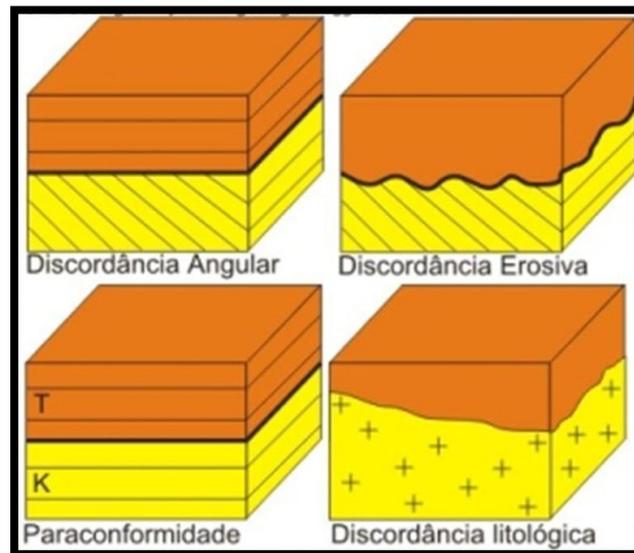


Figura 3: tipo de discordancias

Fuente: (Parima, Parra, & Romero, 2017)

4.4.3. Fallas

En geología, una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980).

Esencialmente, una falla es una discontinuidad que se forma debido a la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. El movimiento causante de esa dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas

4.4.3.1. Clasificación de fallas

Si bien hay varios tipos de fallas, se puede decir que existen tres tipos de fallas principales, según sea la dirección del desplazamiento de las rocas que cortan, según (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2009) las describe como:

- **Falla normal:** Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente

tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende como se puede observar en la Figura 4.

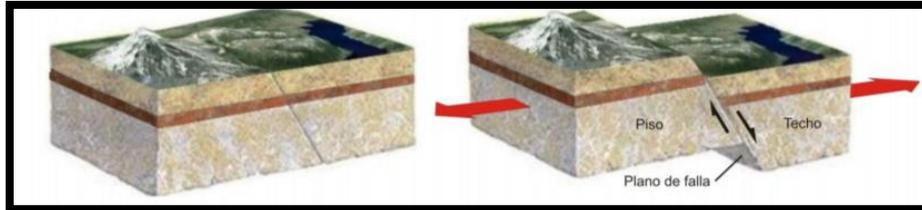


Figura 4: Falla normal

Fuente: (Instituto Nacional De Prevención Sísmica, 2016)

- **Falla inversa:** Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal. El movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45° , éstas también toman el nombre de cabalgamiento, este tipo de falla se observa en la Figura 5.

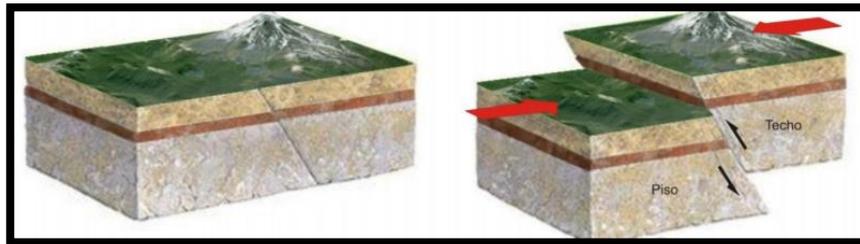


Figura 5: Falla inversa

Fuente: (Instituto Nacional De Prevención Sísmica, 2016)

- **Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo:** Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: laterales derechas y laterales izquierdas. Laterales derechas o dextrales, son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha; mientras que en las laterales izquierdas o sinestrales, el movimiento es opuesto a las anteriores. También se las conoce como fallas transversales. Como en la Figura 6.



Figura 6: falla de desgarre

Fuente: (Instituto Nacional De Prevención Sísmica, 2016)

4.4.4. Pliegues

Una superficie plegada se caracteriza por su forma continua curvada, cóncava o convexa. Esta estructura será visible en todas aquellas rocas que presenten superficies planares, como es la estratificación en rocas sedimentarias o la foliación en rocas metamórficas, y hayan sufrido una o varias fases de plegamiento. Los pliegues son manifestaciones de la deformación dúctil en la superficie de la tierra, y se forman en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas como respuesta a los esfuerzos aplicados asociados con movimientos de placas y formación de cinturones montañosos. Su geometría es variable y refleja la reología de la roca, las condiciones de deformación y el radio de la deformación. (Vich & Ortiz, 2010).

4.4.5. Planos de estratificación

Plano de estratificación es una superficie paralela a la superficie de deposición, que puede tener o no una expresión física clara. Y según (Ramírez, 2004) los planos de estratificación dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.

4.4.6. Planos de foliación

Según (Ramírez, 2004) Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas. También es llamado esquistosidad, a lo cual las rocas suelen romperse a lo largo de la superficie de este plano aproximadamente paralelos entre sí.

4.5. Geotecnia

La geotecnia es la rama de la geología donde se trata de aplicar los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales como las rocas y el suelo; comprometidos en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil.



4.6. Propiedades mecánicas de las discontinuidades

Los macizos rocosos en la naturaleza presentan un alto número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar las propiedades mecánicas que las caracterizan y que influyen en el comportamiento del macizo rocoso. Como son según (Ramírez, 2004):

- **Orientación**, es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. Es importante ver la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad. (Escobar, 2017)
- **Espaciado** es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes. (Ramírez, 2004)
- **Persistencia**. Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento (se trabaja estadísticamente y con criterios probabilísticos como el espaciamiento). Y mientras mayor persistencia exista será menos estable. (Escobar, 2017)
- **Rugosidad**. es la aspereza o irregularidad de la superficie en la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad posea una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y será más competente con mayor rugosidad. (Ramírez, 2004)
- **Resistencia de las paredes de la discontinuidad**. Generalmente es la resistencia a la compresión confinada, debido a que ayuda a determinar la alteración de las paredes de la discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad. (Escobar, 2017)
- **Abertura**. Es la distancia perpendicular entre las paredes de las distancias de las diaclasas cuando estas no contienen ningún tipo de relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas.
- **Relleno**. Apunta al material que se encuentra entre las paredes de la discontinuidad, por lo general son más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación. (Escobar, 2017)
- **Flujo**. Se refiere al agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe según su caudal y se debe considerar si el agua brota o no con presión. (Escobar, 2017)



4.7. Caracterización del macizo rocoso

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes. A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa. (Ramírez, 2004)

Para caracterizar un macizo rocoso donde se pretende insertar una excavación, se requiere conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades, así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades.

Asimismo, será necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones. (Oyanguren & Monge, 2004)

1.1.1. Condiciones de la masa rocosa

Según cómo se presenten las características de la masa rocosa, ésta se comportará de una manera determinada al ser excavada, como es:

- Si la roca intacta es dura o resistente y las discontinuidades tienen propiedades favorables, la masa rocosa será competente y presentará condiciones favorables cuando sea excavada.
- Si la roca intacta es débil o de baja resistencia y las discontinuidades presentan propiedades desfavorables, la masa rocosa será incompetente y presentará condiciones desfavorables cuando sea excavada.
- Habrá situaciones intermedias entre los extremos antes mencionados donde la roca tendrá condiciones regulares cuando sea excavada. (Ramírez, 2004)

4.8. Clasificación geomecánica

Las clasificaciones geomecánicas surgen para establecer, de forma sencilla y simplificada, diferentes grados de calidad del macizo rocoso en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades.

De esta manera permiten establecer índices de calidad del macizo rocoso mediante la observación directa, cálculos y ensayos de las características de los macizos rocosos; índices que se consideran con la finalidad de un sostenimiento para conseguir la estabilidad del macizo rocoso para cumplir con la finalidad de su necesidad.



Algunas de las clasificaciones geomecánicas son:

- Clasificación geomecánica de Terzaghi.
- Clasificación geomecánica de Protodyakonov.
- Clasificación geomecánica de Lauffer.
- Clasificación geomecánica de Deere. Índice RQD.
- Clasificación geomecánica de Wickham. Índice RSR.
- Clasificación geomecánica de Laubscher. Índice MRMR.
- Clasificación geomecánica de L. González de Vallejo. Índice SRC.
- Clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR),
- Clasificación geomecánica de de Barton, Lien y Lunde (Q)
- Clasificación geomecánica de de Hoek-Brown (GSI).

Actualmente las clasificaciones más conocidas y utilizadas son la de Deere (RQD), Bieniawski (RMR), Barton, Lien y Lunde (índice Q de Barton) y Hoek-Brown (GSI).

El RQD es el porcentaje de testigo recuperado, La de Bieniawski es la más usada debido a su facilidad y versatilidad, sin embargo, la de Barton, sistema “Q”, presenta un mejor desarrollo en cuanto a los sostenimientos necesarios a aplicar en una excavación subterránea.

4.8.1. Clasificación de Bieniawski “RMR”(1984)

Su aplicación casi no tiene limitaciones, excepto en rocas expansivas y fluyentes donde no es muy aceptable su uso. Este criterio de clasificación cuenta con cinco parámetros que son:

- a) Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- b) Grado de fracturación en términos del R.Q.D.
- c) Espaciado de las discontinuidades.
- d) Condiciones de las discontinuidades.
- e) Condiciones hidrogeológicas.
- f) Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

4.8.2. Clasificación de Barton (1974)

En la clasificación según el criterio de Barton se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q, basado en los 6 parámetros siguientes:

- RQD “Rock Quality Designation”.
- Jn: Número de familias juntas.
- Jr: Rugosidad de las juntas.



- J_a : Meteorización de las juntas.
- J_w : Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
- SRF: “Stress Reduction Factor”, factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

El valor de los parámetros J_r y J_a depende también del relleno y del tamaño de las juntas. Mediante los parámetros indicados, se la describe en la siguiente formula:

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

En la cual cada cociente tiene su representación propia como es:

- RQD/J_n = representa el tamaño de los bloques.
- J_r/J_a = permite estimar la resistencia al corte entre bloques.
- J_w/SRF = indica el estado tensiones en el macizo rocoso.

4.8.3. La clasificación GSI (Geological Strength Index).

El GSI es un índice de calidad de macizos rocosos, se basa en la observación del macizo rocoso y, es esencialmente cualitativa. El Índice de Resistencia Geológica GSI considera dos parámetros: la condición de la estructura de la masa rocosa y la condición superficial de la misma. Según (Ramírez, 2004) la estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal; y la condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración.

4.9. Martillo Schmidt (Esclerómetro)

(Ayala & Posse, 2006) es de gran importancia para estimar la resistencia a compresión simple de la roca. Su uso es muy frecuente dada la manejabilidad del aparato, pudiendo aplicarse sobre roca matriz y fundamentalmente sobre las discontinuidades (resistencia de los labios). Consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de roca ensayada. La medida del rebote se correlaciona con la resistencia a la compresión simple, mediante un gráfico debido a MILLER (1965) que contempla la densidad de la roca y la orientación del martillo respecto del plano ensayado. Esta tabla se la puede observar en la Figura 7. El desarrollo del ensayo consiste en una preparación de las zonas elegidas, eliminando la pátina de roca meteorizada. Se efectúan 10 percusiones con el martillo en la zona elegida y se eliminan los 5 valores más bajos, efectuándose el promedio de los restantes. Una vez ensayadas todas las zonas necesarias,

se llevan al gráfico de correlación y se obtienen unos valores estimativos de la resistencia a compresión simple de la roca, obteniendo una idea de su estado y calidad.

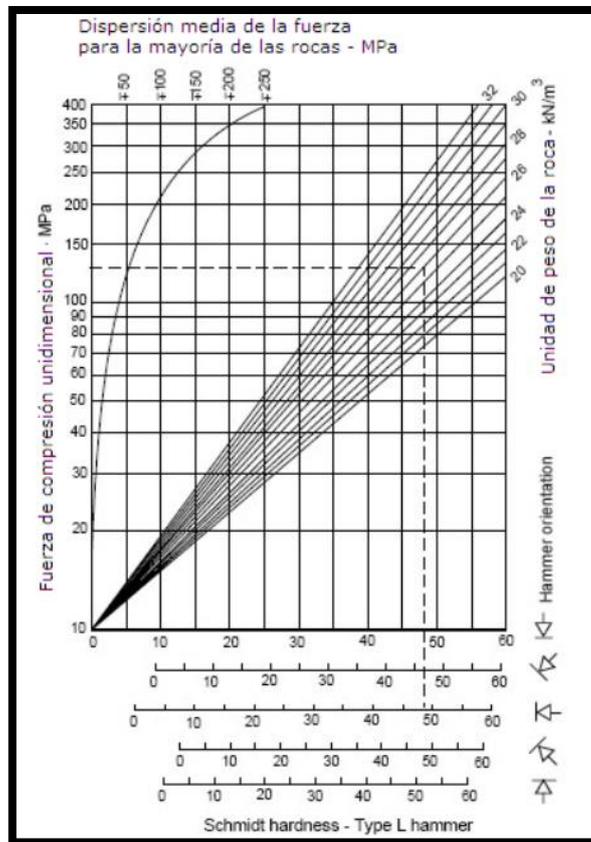


Figura 7: Gráfico de correlación entre el esclerómetro y la resistencia a la compresión simple (MILLER, 1965)

Fuente: (Ayala & Posse, 2006)

Según su resistencia la ISRM realiza una clasificación que se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2: Clasificación de la resistencia según la ISRM

Descripción	Resistencia a compresión
Extremadamente blanda	< 1 MPa
Muy blanda	1-5 MPa
Blanda	5-25 MPa
Moderadamente dura	25-50 MPa
Dura	50-100 MPa
Muy dura	100-250 MPa
Extremadamente dura	>250 MPa

Fuente: (Ayala & Posse, 2006)

4.10. Proyección Estereográfica

Según (Roberto Tomás Jover, 2002), indica que la proyección estereográfica proporciona una herramienta fundamental en el campo de la ingeniería geológica. Su principal interés



estriba en el hecho de que con ella podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento o inmersión) preferentes de elementos que en la naturaleza no se presentan con desarrollos geométricos perfectos, como es el caso de un estrato, donde el plano de techo y de muro presentan irregularidades puntuales, aunque con una tendencia general. Además, este tipo de representación permite medir los ángulos de forma directa. Entre sus aplicaciones más importantes se encuentra el reconocimiento de juegos de diaclasas en un afloramiento rocoso, la determinación de la dirección y el buzamiento de un estrato, la determinación del tipo de rotura en un movimiento de ladera.

4.11. Sostenimiento con estructuras naturales y artificiales

Según (Ramírez, 2004) El sostenimiento, es un término ampliamente utilizado para describir los procedimientos y materiales aplicados a mejorar la estabilidad y mantener la capacidad portante de la roca circundante a la excavación.

El objetivo principal de un sistema de sostenimiento es movilizar y conservar la resistencia inherente de la masa rocosa, de tal manera que la excavación pueda autosostenerse.

En el caso del minado subterráneo, se pueden utilizar para el sostenimiento de las labores mineras, estructuras naturales y estructuras artificiales

4.11.1. Estructuras naturales

Están referidas a la utilización de la misma masa rocosa para crear estructuras que ayuden a mejorar las condiciones de estabilidad de las excavaciones

- **El efecto arco:** El arqueado de los contornos de las excavaciones, principalmente en el techo, favorece las condiciones de estabilidad de las labores mineras subterráneas, minimizando la necesidad de utilizar sostenimiento con estructuras artificiales.
Sin embargo, cuando la masa rocosa presenta rasgos estructurales con condiciones para formar bloques o cuñas potencialmente inestables, es recomendable acomodarse al arreglo estructural de la masa rocosa, particularmente en el techo.
- **Los pilares:** Las diferentes formas de pilares, son utilizadas como estructuras naturales, para sostener a la masa rocosa circundante a las excavaciones asociadas al minado subterráneo.
- **Los escudos:** Esta estructura natural consiste en dejar una capa de mineral en los hastiales del tajeo, principalmente en la caja techo, en situaciones donde las rocas encajonantes son de mala calidad y el mineral es de mejor calidad. Esta capa de mineral



de 0.5 a 1 m de espesor, funciona como sostenimiento de la roca de mala calidad de las cajas, recomendándose que tenga continuidad en todo el hastial.

4.11.2. Estructuras artificiales

- **Cables:** Aparte de su fabricación y capacidad de carga, no hay diferencias significativas entre los pernos de varilla cementados y los cables inyectados con pasta de cemento. En ellos rigen los mismos principios de funcionamiento, en el caso de los cables hay que adicionar a la acción del refuerzo, la acción de sujeción de los bloques rocosos sueltos, sin embargo, en el caso de pequeños bloques rocosos sueltos, los cables son inefectivos, siendo necesario complementar el sostenimiento con pernos de roca y/o malla y/o concreto lanzado (shotcrete).
- **Malla metálica:** La malla metálica principalmente es utilizada para los siguientes tres fines: primero, para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca; segundo, para retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad; y tercero, como refuerzo del shotcrete. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.
- **Cintas de acero (Straps):** Estos elementos de sostenimiento usualmente tienen 1.8 m de longitud, 10 cm de ancho y 4 mm de espesor, están provistas de agujeros de 39 mm x 65 mm, para permitir pasar por ellos los pernos de roca a fin de fijarlos sobre la superficie de la roca. A diferencia de la malla metálica, que es utilizada cuando la roca ubicada entre los pernos presenta bloques pequeños, las cintas son utilizadas típicamente cuando la roca circundante a la excavación presenta bloques medianos a grandes.

La rigidez de la cinta es un aspecto crítico, especialmente en excavaciones de formas irregulares, si la cinta es demasiado rígida, no es fácil adaptarla a la superficie rocosa irregular y por consiguiente no proporciona el sostenimiento requerido, debiendo considerarse en esta situación el uso de cintas más delgadas para moldearlas mejor a la superficie irregular de la roca.

- **Concreto lanzado (shotcrete):** Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados



dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La tecnología del shotcrete comprende los procesos de mezcla seca y de mezcla húmeda.

- **Cimbras metálicas:** Este típico sostenimiento pasivo o soporte es utilizado generalmente para el sostenimiento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de la estabilidad en tales condiciones de terreno, las cimbras son utilizadas debido a su excelente resistencia mecánica y sus propiedades de deformación, lo cual contrarresta el cierre de la excavación y evita su ruptura prematura. La ventaja es que este sistema continúa proporcionando soporte después que hayan ocurrido deformaciones importantes. Las cimbras son construidas con perfiles de acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación, es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena. Hay dos tipos de cimbras, las denominadas “rígidas” y las “deslizantes o fluyentes”.
- **Gatas:** Constituyen unidades de soporte mecánico de los techos de las excavaciones, que funcionan a manera de puntales, generalmente utilizadas en el minado de rocas suaves como es típicamente el minado por frentes largos en los yacimientos de carbón; sin embargo, en el minado en roca dura tienen algunas aplicaciones, por ejemplo, como elemento auxiliar antes de la instalación de los pernos de roca o para la instalación de la malla metálica y en el minado de vetas de buzamiento echado, tipo manto, para complementar el sostenimiento del techo con pilares naturales. Aisladamente se utilizan para soportar bloques o cuñas potencialmente inestables del techo de los tajeos. Las gatas usualmente utilizadas son las de “fricción” y las “hidráulicas o neumáticas”.
- **Cuadros de madera:** Actualmente el sostenimiento con madera tiene menor importancia frente a los avances que han habido en las técnicas de control de la estabilidad del terreno; sin embargo, tiene gran significancia histórica debido a que fue introducida hace varios siglos. En algunas minas peruanas la madera aún sigue siendo utilizada como elemento de sostenimiento, principalmente en el minado convencional de vetas. Su rol es proteger la excavación contra la caída de rocas, debido a la separación de la roca de los contornos de la misma o a lo largo de planos de debilidad, causados por la intemperización y fracturamiento del terreno debido a la voladura y otros factores. En la actualidad, la madera se utiliza por su adaptabilidad a todo tipo de terreno, por su versatilidad para soportar todo



tipo de esfuerzo y por sus características de deformabilidad, lo cual permite detectar en forma temprana los desplazamientos hacia el interior de la excavación.

- **Pernos de anclaje:** Los sistemas de reforzamiento con pernos de roca minimizan las deformaciones inducidas por el peso muerto de la roca aflojada, así como también aquellas inducidas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. En general, el principio de su funcionamiento es estabilizar los bloques rocosos y/o las deformaciones de la superficie de la excavación, restringiendo los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes. En roca masiva o levemente fracturada y en rocas fracturadas, el papel principal de los pernos de roca es el control de la estabilidad de los bloques y cuñas rocosas potencialmente inestables. Ésto es lo que se llama también el “efecto cuña”. Cuando los bloques o cuñas son aislados solo amerita estabilizarlas con pernos aislados, a esto es lo que se denomina también, sostenimiento aislado o esporádico, de lo contrario lo usual será el sostenimiento sistemático en todo el techo y/o paredes de la excavación, según sea requerido. Los pernos se clasifican en:

- Pernos de anclaje mecánico
- Swellex
- Split set
- Grouted dowel o Taco de lechada
- Cable bolt o Pernos de cable



5. Materiales y métodos

5.1. Materiales

Para el desarrollo de este proyecto es necesario disponer de los siguientes materiales de campo, equipos de oficina como se detallan en la tabla 3.

Tabla 3: materiales de campo y oficina utilizados

Materiales de campo	Materiales de oficina
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Brújula ❖ Martillo geológico ❖ GPS ❖ Cinta métrica ❖ Libreta de campo ❖ Lápiz, esfero y borrador ❖ Cámara fotográfica o celular ❖ Linterna ❖ Equipo de protección personal ❖ Ácido clorhídrico ❖ Lupa geológica ❖ Estación ❖ Martillo Schmidt ❖ Fichas técnicas ❖ Mapa geológico y topográfico de referencia ❖ Bolsas plásticas para muestras 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Computadora ❖ Documentos bibliográficos ❖ Flash memory ❖ Impresora ❖ Software's empleados: <ul style="list-style-type: none"> ▪ AutoCad, ▪ ArcGis, ▪ Google earth, ▪ Unwedge ▪ dips

Fuente: el Autor

5.2. Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se ha procedido a con la siguiente metodología.

5.2.1. Primer objetivo

Realizar el levantamiento topográfico superficial y subterráneo de la mina “ORO SOL”

- **Trabajo de campo**

Para el trabajo de campo se procedió con las visitas técnicas al lugar de estudio como se observa en la figura 8, para realizar el levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio mediante una estación total.



Figura 8: Zona de estudio y campamento (Mina ORO SOL)

Fuente: El autor

Para el levantamiento superficial se optó por el método de “poligonal cerrada” la que consistió en realizar un polígono en el cual contiene toda la zona de estudio a levantar como se observa en el mapa topográfico ver anexo 1, la topografía se la realizó en la zona que abarcará toda la actividad minera del frente de explotación de la mina incluyendo el campamento y la infraestructura del frente de explotación. Se tomó el punto de partida con ayuda de GPS de mano modelo ETREX 10 dando las coordenadas UTM/PSAD 56: 651784/ 9662329 Z= 1610m, el punto se ubica a 3m aproximadamente al sur de la boca mina al lado derecho del riel de ingreso, se encuentra marcado de rojo sobre el cemento, como se muestra en la figura 9. Para proceder con el levantamiento superficial se tomó los puntos necesarios para una mayor precisión de las curvas de nivel y tener más detallado la superficie de la zona de estudio, también se tomó los puntos de las infraestructuras existentes en el campamento.



Figura 9: Levantamiento topográfico y punto de partida

Fuente: el autor

Para la topografía subterránea se utilizó la misma estación, en el cual el punto de partida fue la boca mina PP el cual se describió anteriormente y se indicó en la figura 9, el levantamiento se realizó recorriendo todas las galerías correspondientes de la mina y para los lugares de difícil acceso que no permitían el acceso de la estación se utilizó el método de la cinta y brújula para su levantamiento, para disminuir el error de este método se tomó la ayuda de una piola la cual

se estiraba para mantenerla recta y estable y de esta manera tomar los datos con la brújula disminuyendo su margen de error . Como se lo observa en la figura 10.



Figura 10: Levantamiento subterráneo
Fuente: el autor

- **Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete se fundamentó en la recopilación de la información obtenida con la estación en el campo y de estos datos se analizaron y exportaron a un computador para procesar la información y obtener la información de los puntos obtenidos (código, norte X, este Y, elevación Z y referencias) para el desarrollo de las curvas de nivel; para ello los datos fueron exportados y procesados en el programa FORESIGHT en cual se generó las curvas de nivel que en este caso se realizaron a 1m equidistantes entre sí, para posteriormente exportar a AutoCAD donde se analizó el terreno y se graficó las infraestructuras presentes y de esta manera se finalizó con los mapa topográficos superficial y subterráneo.

Como resultado del levantamiento topográfico superficial de la mina “Oro Sol” se obtuvo un mapa topográfico representados en Datum UTM/PSAD 56 a escala 1:2000 con las curvas de nivel equidistantes a 1m entre sí y mediante civilcad se representaron de manera 3D para una mejor apreciación de la superficie obsérvese en el anexo 1.

El resultado del levantamiento topográfico subterráneo es un mapa topográfico representado en Datum UTM/PSAD 56 a escala 1:500, como se observa en el anexo 3.

También se consideró ortofotos y el modelo digital del terreno (MDT) obtenidos del Geoportal del SIGTierras, a escala 1: 5000 para realizar el mapa de pendientes de la mina representados en Datum UTM/PSAD 56 a escala 1:3000 con el que se identifica la diferencia del gradiente entre las formas de relieve ver anexo 2. La clasificación de las pendientes se realizó según Demek 1972 el procedimiento realizado se lo detalla en la figura 11.

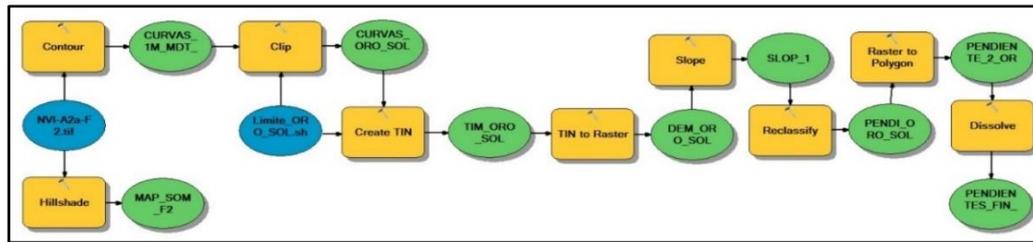


Figura 11: Procedimiento de la realización del mapa de pendientes de la mina "Oro sol"

Fuente: el autor

5.2.2. Segundo objetivo

Determinar las condiciones geológicas y estructurales del bloque de explotación en la mina "ORO SOL"

- **Trabajo de campo**

Se partió con la recolección de información de la geología regional de la zona de estudio, utilizando la carta geológica de Machala escala 1:100000 (Instituto Geografico Militar, 2017).

La geología local se obtuvo mediante el reconocimiento de campo y la identificación de la zona de estudio reconociendo los posibles afloramientos, luego se realizó el reconocimiento y descripción de 14 afloramientos ubicados dentro del contrato minero "ORO SOL", para la descripción de los afloramientos se utilizando la ficha de la tabla 4, se caracteriza los datos estructurales, litología, meteorización entre otras características in situ de las rocas existentes en los catorce afloramientos, ver figura 12.



Figura 12: Toma de datos de afloramientos

Fuente: el autor



Tabla 4: ficha de descripción de afloramientos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS							
Código de Afloramiento							
Responsable							
Sector Referencial							
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z				
Tipo afloramiento							
LITOLOGIA	GENESISI						
		ígnea	Metamorf.	Sedimentario			
		Plutónica	Foliada	Clástica			
		Volcánica	No foliada	No clástica			
		Subvolcanica					
Formación							
Tipo de vegetación	Herbáceo ()	Arbustivo ()	Arbóreo ()	Datos estructurales			
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual	
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo	
FOTOGRAFIA							
Observaciones:							

Fuente: El autor en base a consideraciones de (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Para la ubicación de los afloramientos se utilizó el GPS de mano obteniendo sus coordenadas y posteriormente ubicarlas en el mapa topográfico como base, la ubicación de estos afloramientos está expuestos en la tabla 5.

Tabla 5: Afloramientos descritos de la mina

AFLORAMIENTOS	COORDENADAS UTM PSAD 56		
	CÓDIGO	X	Y
AOS-01	651757.00	9662311.00	1610.00
AOS-02	651773.00	9662332.00	1616.00
AOS-03	651694.00	9662314.00	1617.00
AOS-04	651681.00	9662241.00	1613.00
AOS-05	641730.00	9662204.00	1622.00
AOS-06	651821.00	9662258.00	1625.00
AOS-07	651719.00	9662228.00	1605.00
AOS-08	651708.00	9662212.00	1602.00
AOS-09	651672	9662419	1608
AOS-10	651787	9662525	1642
AOS-11	651900	9662480	1643

AOS-12	651875	9662505	1643
AOS-13	651743	9662496	1638
AOS-14	651992	9662512	1646

Fuente: el autor

Para realizar el análisis geológico subterráneo, dentro de la mina se dejó señalando previamente con la estación cada 20 m, 10m o donde exista cambios de la litología para tomar muestras de mano de dichos puntos y realizar un análisis de estas muestras; como resultado se tomaron 16 estaciones para obtener las muestras de mano, ver figura 13.



Figura 13: estación y obtención de muestra de roca

Fuente: El autor

Las estaciones o puntos de muestreo se describen brevemente en la tabla 6, las muestras de mano fueron utilizadas para la descripción macroscópica considerando color, textura, granulometría entre otros; con la cual se determina la geología subterránea, en la interior mina se toman datos estructurales y descripción de la litología con sus discontinuidades y estructuras ver figura 14, de esta manera se determinó la geología subterránea, la ubicación de las muestras de mano y afloramientos se encuentran en el mapa de muestreo como se indica en el anexo 4.



Figura 14: levantamiento geológico interior mina

Fuente: el autor



Tabla 6: puntos de muestreo subterráneo

Código	Tipo de muestra	Coordenadas UTM PSAD 56	
		X	Y
EOS-01 Tramo 1	Roca	651855	9662423
EOS-02 Tramo 2	Roca	651953	9662549
EOS-03 Tramo 3	Veta	651964	9662560
EOS-04 Tramo 4	Roca	651992	9662554
EOS-05 Tramo 5	Roca	651997	9662567
EOS-06 Tramo 6	Roca	652002	9662549
EOS-07 Tramo 7	Veta	651981	9662562
EOS-08 Tramo 8	Roca	652054	9662552
EOS-09 Tramo 9	Roca	651858	9662416
EOS-10 Tramo 10	Roca	651846	9662407
EOS-11 Tramo 11	Roca	651928	9662502
EOS-12 Tramo 12	Roca	651931	9662509
EOS-13 Tramo 13	Veta	651957	9662546
EOS-14 Tramo 14	Veta	651953	9662535
EOS-15 Tramo 15	Veta	651974	9662538
EOS-16 Tramo 16	Veta	651980	9662538

Fuente: el autor

- **Trabajo de gabinete**

Para el trabajo en oficina se procedió a analizar la geología regional recopilando información bibliográfica principalmente de la carta geológica de Machala a escala 1:100000 y Evaluación de distritos mineros en el Ecuador de (PRODEMINCA, 2000); definiendo principalmente la geología existente en la zona aledaña a la concesión RENACER M3.

En la obtención de la geología local se analizó los datos obtenidos en campo como la litología, datos estructurales y estructuras geológicas de la descripción de los 14 afloramientos mencionados anteriormente ver tabla 5; y de los análisis macroscópicos de las muestras de mano subterráneas.

La información obtenida se analizó y se plasmó en un mapa mediante el uso del programa ArcGis, donde se representó las características geológicas y litológicas con sus respectivos datos estructurales. Como resultado se obtendrá el mapa geológico superficial de la zona de estudio con el Datum UTM/PSAD 56 a una escala 1:2000. Véase en Anexo 5.

Para realizar del mapa geológico subterráneo del bloque de explotación de la mina, se representó sus características geológicas y litológicas con sus datos estructurales tanto de la

litología como de las discontinuidades, también se representó la mineralización presente. Como resultado se consiguió el mapa geológico del bloque de explotación de la mina “Oro Sol” con el Datum UTM/PSAD 56 a escala 1:500, ver anexo 6.

5.2.3. Tercer objetivo

Determinar la calidad del macizo rocoso mediante la clasificación geomecánica RMR, Q de Barton y GSI; en el bloque de explotación de la mina “ORO SOL”.

- **Trabajo de campo**

Para la caracterización geotécnica del bloque de explotación de la mina se inició con su recorrido general donde se procedió a dividirlo en 16 tramos tomando como referencia las estaciones geológicas de la tabla 6. Los cuales no son equidistantes ya que se diferencian por sus condiciones estructurales, litológicas y/o geomecánicas.

En cada uno de estos tramos se realizó la caracterización in-situ de las condiciones geomecánicas como son: las discontinuidades, presencia de agua, RQD, espaciado y condiciones de las juntas, como se indica en la figura 15.



Figura 15: Características de las discontinuidades

Fuente: El autor

Y se tomó 4 muestras de roca para laboratorio y determinar su resistencia a la compresión simple donde tres fueron en estéril y una en la veta mineralizada en el frente de trabajo del bloque de explotación ver figura 16.



Figura 16: muestras subterráneas para laboratorio
 Fuente: El autor

En el laboratorio también se determinó densidad y peso específico de la roca. Los puntos de las muestras se observan en la tabla 7.

Tabla 7: puntos de muestras para laboratorio

Código	Corresponde a tramo	COORDENADAS	
		X	Y
M1-OS	1,2,9,10	651877	9662454
M2-OS	3,4,11,12	651944	9662543
M3-OS	5,6,13,14	651980	9662581
M4-OS	7,8,15,16	651995	9662558

Fuente: El autor

Para la caracterización geomecánicas in-situ se utilizó la ficha que se presenta en la Tabla 8. donde se determinó las condiciones de las discontinuidades como: su separación, longitud, abertura, rugosidad, relleno, alteración o meteorización, condición de agua y resistencia de la roca. Se determino la separación o espaciamiento de las discontinuidades mediante mediciones con un flexómetro y se realizó un promedio de estas para cada familia de discontinuidades presentes en cada tramo caracterizado. De manera similar se determinó la longitud y abertura de las discontinuidades de cada familia. Ver figura 17.



Figura 17: Medición de la potencia y rugosidad de discontinuidades
 Fuente: El autor

La rugosidad, se la realizo subjetivamente mediante la observación in-situ utilizando los perfiles de rugosidad ver figura 18, para determinar el índice de rugosidad de la discontinuidad.

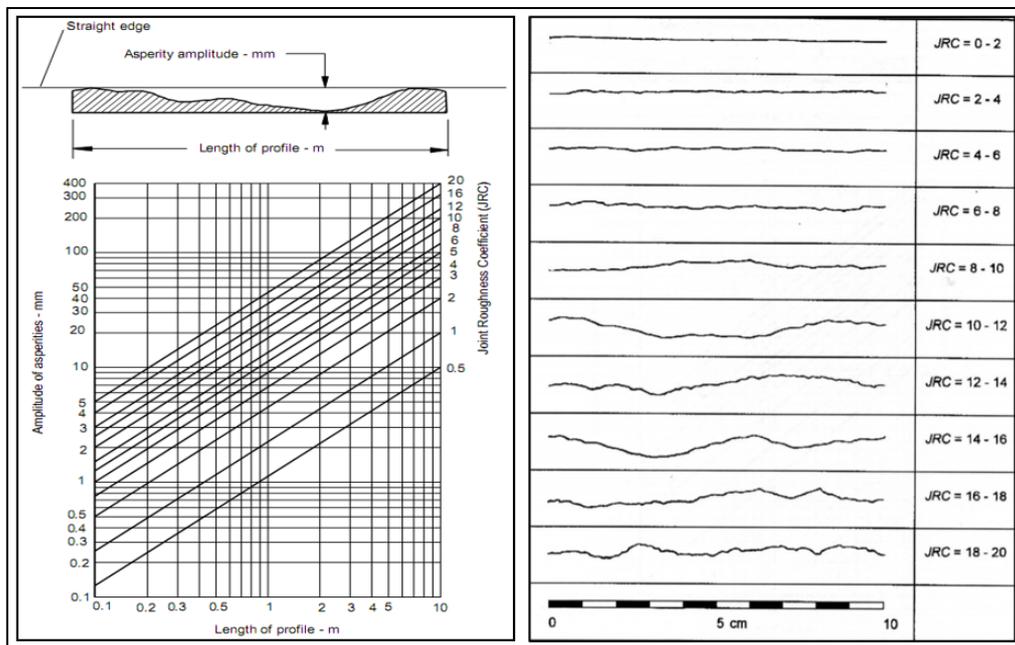


Figura 18: Diagrama para determinar JRC y los perfiles de rugosidad

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

- **Trabajo de gabinete**

En oficina se procede a determinar la geotécnica de la mina con los datos obtenidos en campo para realizar la valoración según las metodologías del GSI, RMR e índice Q. Esto se realizó con los datos obtenidos en la mina de los 16 tramos en la que esta se dividió para su adecuado análisis y caracterización. Cada metodología se indica a continuación:

Clasificación de Bieniawski (RMR):

Esta clasificación geomecánica constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación y sostenimiento en túneles. (González de Vallejo et al., 2002). Esta clasificación tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- **Resistencia a la compresión simple:** Se la realizo ensayos uniaxiales sobre las 4 muestras extraídas en el campo los ensayos se realizaron en el laboratorio ESTSUELCON CÍA. LTDA. y se verificaron estos datos utilizando un martillo Smith tipo N, estos puntos de muestreo se encuentran en el anexo 4.

Al utilizar este tipo de martillo se procedió a realizar la corrección a través de la fórmula propuesta por Ayday y Göktan (1992) que obtuvieron, de acuerdo al procedimiento de

toma de datos sugerida por la recomendación ISRM (1978), la siguiente correlación empírica entre los números de rebotes de ambos martillos:

$$R_N = 7.124 + 1.249 R_L \quad (r^2 = 0.882)$$

siendo R_N y R_L el número de rebotes proporcionado por un martillo tipo N y L, respectivamente; y r^2 , el coeficiente de determinación lineal.

El Martillo además ayudó para la determinación del ángulo de fricción residual debido a que por lo general las paredes de las juntas se encuentran alteradas lo cual disminuye el ángulo de fricción básico. Para ello se empleó la fórmula propuesta por Barton and Choubey, quienes sugieren que el ángulo de fricción residual ϕ_r puede ser estimado mediante la fórmula:

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20(r / R)$$

Donde

R = valor del rebote del esclerómetro o martillo Schmidt, sobre una superficie de material sano y seco;

r = valor del rebote del esclerómetro sobre la superficie de la pared de la junta

ϕ_b = ángulo de resistencia básico de la roca y se obtiene de tablas bibliográficas.

Si las paredes de la discontinuidad están sanas, $\phi_b = \phi_r$.

También se dio un aproximado a la resistencia de la roca utilizando la estimación de Brown (1981), que se la describe en la Tabla 19.

Tabla 19: Aproximación de la resistencia del macizo rocoso según Brown

Clase	Descripción	Identificación de terreno IRS	(MPa)
R0	Roca Extremadamente Blanda	El material se puede marcar con la uña.	0,25-1
R1	Roca Muy Blanda	El material se desmenuza al ser golpeado con la punta del martillo geológico. Con un cortaplumas es fácil tallar el material.	1-5
R2	Roca Blanda	Al golpear con la punta del martillo geológico se producen pequeñas marcas en el material. Es difícil tallar el material con un cortaplumas.	5-25
R3	Roca Moderadamente Resistente	No se puede tallar el material con un cortaplumas. Se requiere un golpe fuerte del martillo geológico para fracturar el material.	25-50
R4	Roca Resistente	Se requiere más de un golpe del martillo geológico para fracturar el material.	50-100
R5	Roca Muy Resistente	Se requiere muchos golpes con el martillo geológico para fracturar el material.	100-250
R6	Roca Extremadamente Resistente	Al golpear el material con el martillo geológico este no se fractura, y solo saltan esquirlas.	> 250

Fuente: (Gonzalez de Vallejo, 2002)

En la Tabla 9 se presenta una estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski, 1973.

Tabla 9: Estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski, 1973

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Slice	587	683	635

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

- **El RQD (Rock Quality Designation)** en la mina al no contar con testigos de perforación el RQD se determinó a través de la correlación empírica de Palmstrom, 1975 que propone si no existen testigos de perforación (en ISRM, 1981). La cual se expresa en la siguiente fórmula.

$$RQD = 115 - 3.3J_V; \text{ si } J_V > 4.5$$

$$RQD = 100; \text{ si } J_V \leq 4.5$$

Donde J_V es el número total de discontinuidades por metro cúbico

- **Espaciado de las juntas.** Hace referencia a las discontinuidades estructurales: fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc., y su espaciado o distancia entre los planos de discontinuidad. Esto se determinó mediante ayuda de un flexómetro.
- **Naturaleza de las juntas.** Se consideró el estado de las juntas utilizando los siguientes parámetros:
 - Apertura entre los labios de la discontinuidad.
 - Continuidad (dimensiones) de la junta según rumbo y buzamiento.
 - Rugosidad de los labios.
 - Resistencia de la roca en los labios de la discontinuidad.
 - Relleno de la junta.

- **Presencia de agua.** En un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene mucha influencia en su comportamiento, se estimó el flujo de agua en litros/min. cada tramo de las galerías del bloque de explotación.

Para el cálculo del RMR se determinó el valor de cada una de las variables antes mencionadas como se detalla en la tabla 10.

Tabla 10: Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Nº	CLASIFICACION DE BIENIAWSKI									VALOR
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%			
	Puntuación		20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 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	0,1-1,0 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	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta			
		Puntuación	6	5	3	1	0			
5	Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo			
		Puntuación	15	10	7	4	0			
RESULTADO DEL RMR básico										

Fuente: (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Clasificación GSI: El valor del índice GSI se calculó a través de la estimación directa de la clasificación de Bieniawski, por la siguiente ecuación:

$$GSI = RMR' - 5$$

En el cual al RMR se le asigna 15 puntos a la condición de aguas subterráneas y 0 puntos al ajuste por orientación de las discontinuidades a este valor se lo denomina RMR'. Se considero

su estado de fracturamiento y la calidad de las discontinuidades el valor obtenido se lo proyecta en la gráfica de la Figura 19.

SOSTENIMIENTO SEGÚN GSI MODIFICADO Labores mineras de exploración-desarrollo y explotación (0.75 a 3.50 de luz) según su condición superficial								
I	Muy Buena	Generalmente no requiere de sostenimiento, ocasionalmente puntales en tajos y pernos en gal. y cx	Parámetro de resistencia	Muy Buena (MB): (Muy resistente fresca) Superficie de las fracturas muy rugosas, sin alteración cerradas (R.C. > 250 Mpa) Se astilla con golpes de picota	Buena (B): (Resistente, levemente alterada) Fracturas rugosas ligeramente alteradas con manchas de oxidación ligeramente abiertas (R.C. 100 a 200 Mpa). Se rompe con tres o más golpes de picota	Regular (R): (Moderadamente resistente y alterada) Fracturas ligeramente rugosas a lisas; moderadamente alterada ligeramente abierta (R.C. 50 a 100Mpa) Se rompe con uno o dos golpes de picota	Mala (M): (Blanda muy alterada) Superficie pulida o con estrías muy alterada, relleno compacto o con fragmentos de roca (R.C. 25 a 50 Mpa) Se hunde superficialmente con un golpe de picota	Muy Mala (MM): (Muy blanda y extremadamente alterada) Superficie pulida o se hunde profundamente con la punta de picota
II	Buena	Sostenimiento puntual donde se requiera pernos cementados en labores principales, Split set en labores temporales. Levantar coronas; en tajos y colocar puntales de seguridad donde se requiera						
III	Regular	Sostenimiento sistemático 1.2 x 1.2 m., pernos cementados en labores principales (mallas ocasionales). Split set en labores temporales. En tajos: tener control de perforación y voladura; colocación de puntales sistemáticos y/o pernos en tajos de 1 a 15m. (cajas y corona)						
IV	Mala	Sostenimiento sistemático c/cuadros de madera (1.2 – 1.5m.); pernos cementados sistemáticos (1x1m.) c/mallas en labores permanentes. Sostenimiento preventivo en labores temporales con Split set (1 x 1m.) con malla, en tajos de perforación horizontal y cuadros de madera y/o puntales de seguridad y en línea cada 1m. con guardacabezas						
V	Muy mala	Sostenimiento con cuadros de madera de 0.5 a 1m; encribado y topeado (avanzado con marchavantes). En tajos perforación horizontal y armado de cuadros completo y puntales con plantilla sistemático cada 1m.						
Parámetro de fracturamiento								
	Levemente fracturada (LF) De tres a menos sistemas de fracturamiento muy espaciadas entre sí. De 2 a 6 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 75 a 90)		I LF/MB	II LF/B	II LF/R			
	Moderadamente fracturada (F) Muy bien amarrada, no alterada Bloques cúbicos formados por tres sistemas de fracturamiento De 6 a 12 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 50 a 75)		I F/MB	II F/B	III F/R	IV F/M		
	Muy fracturada (MF) Moderadamente amarrada, parcialmente alterada, bloques angulosos formados por cuatro a más sistemas de fracturamiento De 12 a 20 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 25-50)			II MF/B	III MF/R	IV MF/M	V MF/MM	
	Intensamente fracturada-fallada (IF) Muchas fracturas entrecruzadas, 2 a mas falsas cajas fallamientos paralelos, todos formando bloques irregulares o angulosos. Mas de 20 fracturas por metro lineal (R.Q.D. 0 a 25)				III IF/R	IV IF/M	V IF/MM	
	Triturada o brechada (T) Poco amarrada, masa rocosa extremadamente rota deleznable, con una mezcla de fragmentos facilmente disgregable, angulosos y redondeados (Sin R.Q.D.)					V T/M	V T/MM	

Figura 19: Clasificación y Sostenimiento Según GSI Modificado

Fuente: Marinis y Hoek (2000)

Clasificación de Barton: El Tunnelling Quality Index, o sistema Q, fue desarrollado por Barton y sus colaboradores en 1974 y en años posteriores. Esta clasificación geomecánica tiene su fundamento en el Índice de Calidad “Q”, denominado también Índice de Calidad Tunelera. (Barton, Lien, y Lunden, 1974).

Se calculo considerando 6 parámetro para dar una estimación de la calidad del macizo rocoso, los parámetros considerados son:

- ❖ Rock Quality Design (R.Q.D.).
- ❖ Número de familia de juntas o discontinuidades (Jn).



- ❖ Rugosidad de las juntas (J_r).
- ❖ Grado de alteración de las juntas (J_a).
- ❖ Presencia de agua (J_w).
- ❖ Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF).

Una vez determinado cada uno de estos parámetros se utilizo la formula:

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

“El Índice Q permite calificar la calidad geotécnica de los macizos rocosos en una escala logarítmica, que varía de 0.001 a 1000, y considera nueve clases” (Barton, 1974.)

- ❖ **Rock Quality Design (R.Q.D.):** Para el definir el valor del RQD se utilizó el mismo anteriormente calculado,
- ❖ **Número de familia de juntas o discontinuidades (J_n):** se determino mediante el numero de familias observado en campo por cada tramo, y se valoró según la tabla 11.

Tabla 11: Número de familias de Juntas. J_n

DESCRIPCIÓN	J_n
Roca masiva	0,5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia y algunas juntas ocasionales	3
Dos familias	4
Dos familias y algunas juntas	6
Tres familias	9
Tres familias y algunas juntas	12
Cuatro o más familias, roca muy fracturada, "terrones de azúcar", etc.	15
Roca triturada terrosa	20
En boquillas, se utiliza 2 J_n y en intersecciones de túneles 3 J_n	

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

- ❖ **Rugosidad de las juntas (J_r):** se lo considero según el peine de Barton como se indico anteriormente. Y se dio valor según como se indica en la tabla 12.

Tabla 12: Rugosidad de las juntas. J_r

DESCRIPCIÓN	J_r
* Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm	
- Juntas discontinuas	4
- Junta rugosa o irregular ondulada	3
- Suave ondulada	2
- Espejo de falla, ondulada	1,5
- Rugosa o irregular, plana	1,5
- Suave plana	1



- Espejo de falla, plana	0,5
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente	
- Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta	1
- Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta	1
NOTA: Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jr en una unidad. Para juntas planas con espejo de falla provisto de lineaciones, si éstas están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar Jr=0,5	

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

- ❖ **Grado de alteración de las juntas (Ja):** se consideró el estado del material encontrado en el bloque de explotación y se valoró según la tabla 13.

Tabla 13: Meteorización de las juntas. Ja

DESCRIPCIÓN	Ja	φ ^o r
* Contacto entre las dos caras de la junta.		
- Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable, p.ej. cuarzo, paredes sanas.	0,75	
- Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
- Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	2	25-30
- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, p.ej. caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito, etc. Y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16
*Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento.		
- Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
- Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobre consolidados. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor	6	16-24
- Sobre consolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor	8	12-16
- Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12
* No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ésta ha sufrido un desplazamiento cortante.		
- Zonas o bandas de roca desintegrada o roca machacada y arcilla.	6-8 u 8-12	6-24 ----
- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento	5	6-24
- Milonitos arcillosos gruesos	10-13 o 13-20	6-24

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

- ❖ **Presencia de agua (Jw):** se valoró según la tabla 14.

Tabla 14: Agua en las juntas. Jw

DESCRIPCIÓN	Jw	Presión agua kg/cm ²
- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.ej. menos de 5 l/min localmente	1	<1
- Fluencia o presión medias, ocasional lavado de los rellenos de las juntas	0,66	1-2,5
- Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0,33*	2,5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo.	0,1-0,2*	>10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas y continuas, sin disminución	0,05-0,1*	>10

Los valores presentados con el signo * son sólo valores estimativos. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw. Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

❖ **Estado tensional de la roca, Stress Reduction Factor (SRF):** ver tabla 15

Tabla 15: Tensiones en la excavación. S.R.F

DESCRIPCIÓN	SRF		
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.			
A Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad)	10		
B Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m)	5		
C Sólo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m)	2,5		
D Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad)	7,5		
E Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).	5		
F Sólo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad mayor de 50 m).	2,5		
G Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).	5		
Rocas competentes, problemas de tensiones en las rocas.	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	
H Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	>200	>13	2,5
J Tensiones medias.	200-10	13-0,66	1,0
K Tensiones altas, estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).	10-5	0,66-0,33	0,5-2,0
L Explosión de roca suave (roca masiva).	5-2,5	0,33-0,16	5-10
M Explosión de roca fuerte (roca masiva).	<2,5	<0,16	10-20

σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción, respectivamente, de la roca; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca.



Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.	
N Presión de flujo suave.	5-10
O Presión de flujo intensa.	10-20
Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.	
P Presión de expansión suave.	5-10
R Presión de expansión intensa.	10-20
Observaciones al SRF:	
<ul style="list-style-type: none"> • Reducir los valores del SRF en un 25-50% si las zonas de rotura sólo influyen, pero no interceptan a la excavación. • En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2,5 a 5 (ver H). • Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a 0,8 σ_c y 0,8 σ_t; cuando $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a 0,2 σ_c y 0,6 σ_t, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca. 	

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

Notas para el uso de las Tablas 11 a 15:

- Si no se dispone de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v .
- El parámetro J_n puede estar afectado por foliación, esquistosidad, laminaciones, etc. Sólo si estas juntas paralelas están suficientemente desarrolladas se contabilizan como una familia; si no, se contabilizan como juntas ocasionales.
- Se tomarán los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de juntas o discontinuidades rellenas de arcilla más débiles de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las juntas de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a .
- En rocas muy anisótropas, la resistencia a compresión simple de la roca, σ_c , y a tracción, σ_t , se evalúan en la dirección más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea.

Los rangos de variación de los parámetros son los siguientes ver tabla 16.

Tabla 16: rango de los parámetros de Barton

Parámetros	Rango
RQD	0 - 100
J_n	0,5 - 20
J_r	0,5 - 4
J_a	0,75 - 20
J_w	0,05 - 1
SRF	0,5 - 20

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

Los ángulos de fricción acrecientan con la rugosidad en las juntas inalteradas con contacto directo entre sus labios. Estas superficies tienen una fuerte dilatación cuando sufren esfuerzos cortantes, lo cual es muy favorable para la estabilidad de la excavación. Las juntas más desfavorables son las que no presentan contacto entre sus labios, por la presencia de rellenos (Oyanguren & Monge, 2004)

Considerando los intervalos de variación de los seis parámetros del índice de calidad de Barton Q del macizo rocoso, que varía entre 10^{-3} - 10^3 , su clasificación se indica en la Tabla 17.

Tabla 17: Clasificación de Barton (1974) de los macizos rocosos. Tipos de macizos rocosos

TIPO DE MACIZO	VALOR DE Q
Excepcionalmente malo	10^{-3} - 10^{-2}
Extremadamente malo	10^{-2} - 10^{-1}
Muy malo	10^{-1} - 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

Fuente: (Oyanguren & Monge, 2004)

Con los valores obtenidos de las tablas expuestas para la clasificación del Índice Q se resumen en la tabla 18. Donde se calcula el valor del índice Q.

Tabla 18: parámetros para el cálculo del índice de Barton

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)		
Parámetro	Valoración	
RQD		
Número de familias de juntas (J_n)		
Índice de rugosidad de las Juntas (J_r)		
Factor de alteración de las Juntas (J_a)		
Factor de reducción por presencia de agua (J_w)		
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)		
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$	Valor del Índice Q	

Fuente: El autor

Obtenida la información geológica - geotécnica del bloque de explotación de la mina "Oro Sol" de las tres metodologías analizada se organiza en la Tabla 19 así tener el valor de los resultados sobre las condiciones actuales del bloque de explotación.



Tabla 19: Resumen de resultados

RESULTADOS	
Resistencia a la compresión simple	
RQD	
RMR Básico	
RMR Corregido	
RMR seco	
Q de Barton	
GSI	
Cohesión del macizo rocoso	

Fuente: Autor

Análisis cinemático

Para el análisis cinemático se realizaron análisis bidimensionales (estereogramas) de las familias de discontinuidades mediante el software Dips con el que se aprecia la disposición de las discontinuidades presentes, sus direcciones, las cuñas tetraédricas según las familias de discontinuidades que se forman en el macizo rocoso y los diagramas de los planos principales de grietas y su cono de fricción. Para el uso del software Dips se ingresaron las variables de: buzamiento, dirección de buzamiento y Angulo de fricción básico.

Para un mejor análisis tridimensional de las cuñas formadas se utilizó el software Unwedge en el cual se utilizaron los datos como son: orientación del túnel, densidad de la roca, orientaciones de las familias de discontinuidades y ángulo de fricción residual, una vez finalizado el ingreso de datos, el software proporciona las características de las cuñas como: factor de seguridad, volumen, peso y altura de ápice. En el software se identifican las cuñas existentes para determinar las que se encuentra estables y las que no darles un posible sostenimiento que se calculó a través de las fórmulas expresadas en el anexo 11 donde se detalla acerca de la medida de sostenimiento planteada.

Para proponer el sostenimiento se consideran las tres clasificaciones, pero se escogió el índice GSI modificada la cual se adapta a las características de la mina.

- **Determinación de Sostenimiento propuesta por Bieniawski:** se utilizó el criterio que Bieniawski propone que se puede observar en la figura 20 que habla de las recomendaciones que se puede realizar para el sostenimiento de acuerdo al RMR.

CLASE	RMR	EXPANSIÓN (PASE)	SOSTENIMIENTO		
			BULONES Longitud en m.	Hormigón Proyecto	Cerchas Metálicas
I Muy buena	81-100	Sección completa (3m.)	Ocasionalmente	No necesario	No necesarias
II Buena	61-80	Sección completa (1-1.15 m.). Sostenimiento terminado a 20 m del avance	Localmente en clave con Long=2-3 m. Espaciados de 2 a 2.5 m con mallazo ocasional	5 cm, en clave donde sea necesario.	No necesarias
III Media	41-60	Avance y destroza (1.5-3 m. de avance) Completar Sostenimiento a 20 m. del frente	Sistemáticamente en clave y hastial Long= 3-4 m. Espaciados 1.5 a 2.0 m Mallazo en clave.	5-10 cm en clave 3 cm en hastiales	No necesarias
IV Mala	21-40	Avance y destroza (1.0-1.5 m de avance). Sostenimiento inmediato simultáneamente con la excavación y hasta 10 m. del frente.	Sistemáticamente en clave y hastiales de Long= 4 a 5 m. Espaciados 1.0 -1.5 m con Mallazo.	10-15 cm en clave 10 mm en hastiales	Ligeras a medias, espaciadas a 1.5 m donde sea necesario
V Muy mala	1-20	Galerías múltiples (0.5-1.5 m.). Sostenimiento simultaneo con la excavación. Hormigón proyectado inmediatamente después de la voladura.	Sistemáticamente en clave y hastiales Long= 5-6 m. Espaciados 1.0 -1.5 m con Mallazo Bulonar la contraboveda.	15-20 cm en clave 15 cm en hastiales 50 mm en el frente.	Medias a pesadas, espaciadas a 0.75 m con forro y longarinas donde sea necesario. Contraboveda

Figura 20: sostenimiento propuesto por Bieniawski
Fuente: Bieniawski 1989

- **Determinación de Sostenimiento propuesta según Q de Barton:** para este criterio se analiza la figura 21 y 22 donde según el valor del índice Q y el propósito de la excavación propone un tipo de sostenimiento.

Tipo de excavación	ESR
A Labores mineras de carácter temporal, etc.	2-5
B Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), Túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2
C Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles	0,9-1,1
E Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas	0,5-0,8

Figura 21: Valores del índice ESR (Excavación Suport Radio) de la clasificación Q
Fuente: Barton (2000)

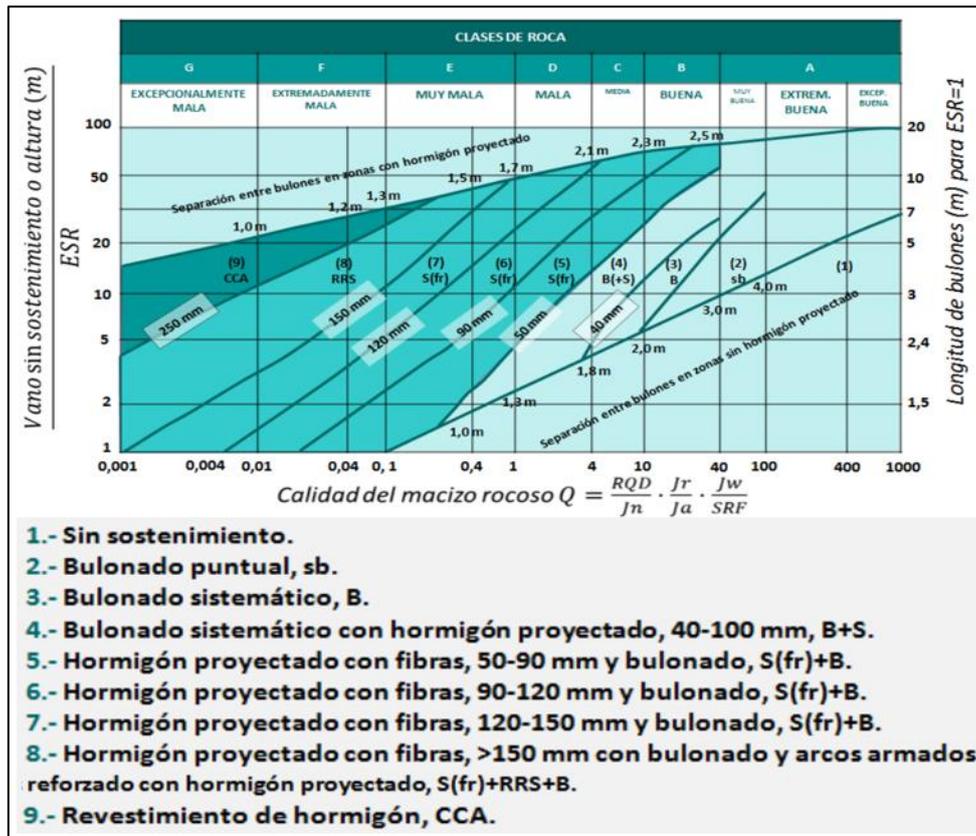


Figura 22: Sostenimiento según Barton

Fuente: (Barton, 2000)

En la figura 22 para el valor de la vertical se considera como uno (altura de la galería / uso final de la excavación $1.7/1.6= 1$) y en el valor de la horizontal se considera el resultado del cálculo del índice Q

Para el sostenimiento aplicado en el software Unwedge se utilizó el criterio de la clasificación GSI y se optó por pernos helicoidales las dimensiones y características de estos pernos se detallan en el anexo 11.

Con los datos obtenidos y analizados se realizó un mapa geotécnico del bloque de explotación de la mina “Oro Sol” de cada una de las clasificaciones RMR, el Q de Barton y el GSI y procedió a realizar el mapa geotécnico final con Datum UTM/PSAD 56 a escala 1:1000, según anexo 7.



6. Resultados

6.1. Ficha técnica

Tabla 20: Ficha técnica de la concesión RENACER M3

Datos generales de la concesión	
Nombre del área	RENACER M3
Código	101602
Superficie Concesionada	974 hectáreas mineras
Representante legal	Ing. Alberto Salazar
Teléfono	2932661
Ubicación	Provincia: Azuay Cantón: Camilo Ponce Enríquez Sector: San Gerardo
Categoría	Pequeña minería
Tipo de minería	Subterránea (Metálica)
Fase minera	Explotación
Recurso explotable	Oro (Au)
Contrato minero	ORO SOL
Superficie del contrato minero ORO SOL	24.01 Ha

Fuente: El autor

6.2. Ubicación y acceso

6.2.1. Ubicación

La concesión minera RENACER M3 se ubica al suroccidente del país, al oeste de la provincia de Azuay y al sur del cantón Camilo Ponce Enríquez en el sector de San Gerardo. El mapa de ubicación se encuentra en la figura 23.

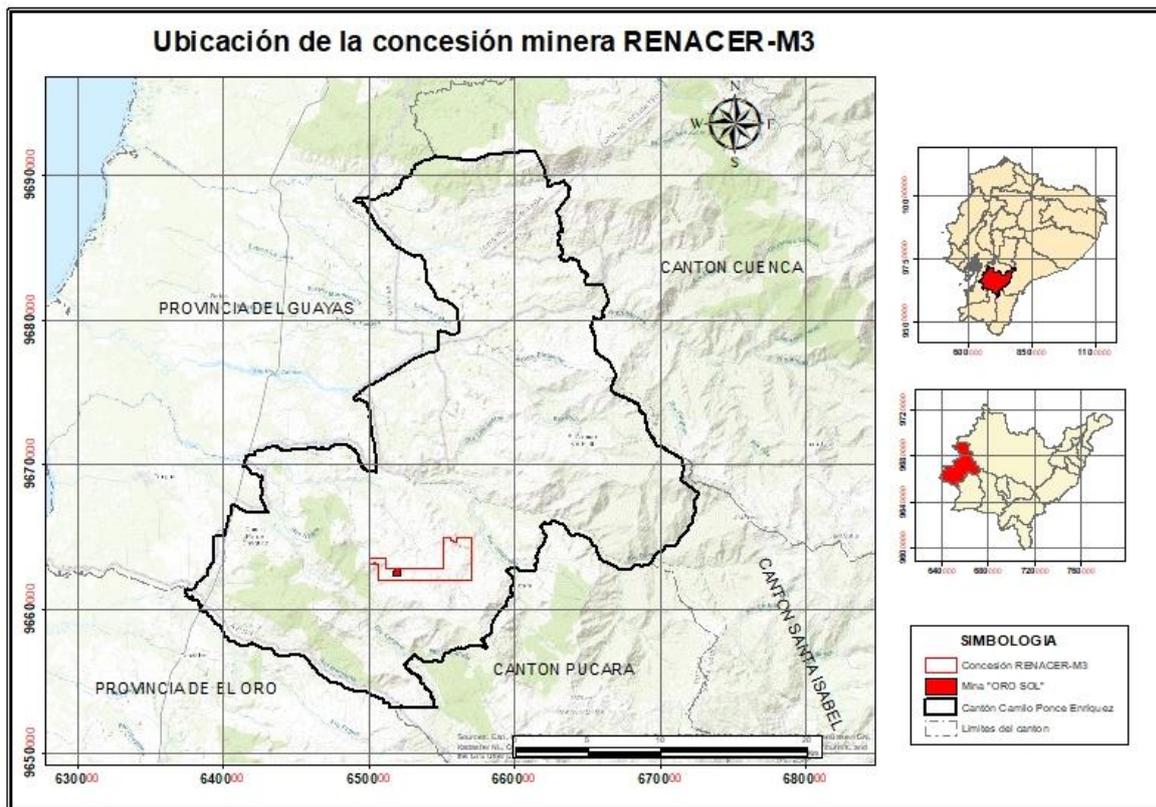


Figura 23: Mapa de ubicación de la concesión minera RENACER-M3

Fuente: El autor

El área de la concesión RENACER M3 es de 974 hectáreas las cuales se encuentra delimitada por las coordenadas descritas en la Tabla 22.

Tabla 21: Área de la concesión minera RENACER M3

PUNTOS	Coordenadas del área de la concesión minera RENACER M3			
	PSAD56		WGS84	
	X	Y	X	Y
PP	650000	9663500	649741	9663126
1	651100	9663500	650841	9663126
2	651100	9662800	650841	9662426
3	655100	9662800	654841	9662426
4	655100	9665000	654841	9664626
5	655600	9665000	655341	9664626
6	655600	9664700	655341	9664326
7	655800	9664700	655541	9664326
8	655800	9664600	655541	9664226
9	656000	9664600	655741	9664226
10	656000	9665000	655741	9664626
11	657000	9665000	656741	9664626
12	657000	9662000	656741	9661626
13	650600	9662000	650341	9661626
14	650600	9663100	650341	9662726



15	650400	9663100	650141	9662726
16	650400	9663200	650141	9662826
17	650300	9663200	650041	9662826
18	650300	9663100	650041	9662726
19	650000	9663100	649741	9662726

Fuente: Titulo minero

La zona de estudio es la mina “ORO SOL” la cual tiene un área de 24.01 hectáreas y está delimitada en las coordenadas descritas en la Tabla 23, las cuales están estipuladas en el contrato minero “ORO SOL”

Tabla 22: *Coordenadas del área de la mina “ORO SOL”*

Coordenadas del área de la mina “ORO SOL”				
PUNTOS	PSAD56		WGS84	
	X	Y	X	Y
PP	651630	9662360	651371	9661986
1	651630	9662600	651371	9662226
2	651800	9662600	651541	9662226
3	651800	9662800	651541	9662426
4	652200	9662800	651941	9662426
5	652200	9662300	651941	9661926
6	651800	9662300	651541	9661926
7	651800	9662360	651541	9661986

Fuente: Contrato minero

6.2.2. Acceso

El acceso al área minera RENACER-M3 se lo puede realizar mediante diferentes medios como se indica en la figura 24; así se tiene que desde la vía terrestre se puede llegar desde la ciudad de Quito a través de la vía Panamericana/ Troncal de la costa la cual es vía de primer orden, pasando por Latacunga, Ambato, Riobamba, Pallatanga, Bucay, Naranjal, Camilo Ponce Enríquez hasta llegar a Buenavista en la cual se toma la vía hacia Shumiral al llegar al barrio del mismo nombre se procede a continuar por una vía lastrada hacia el Barrio San Gerardo que se encuentra aproximadamente a 24 km de este, desde el a 5 km se ubica el área de estudio.

El acceso también se lo puede realizar por vía aérea desde la ciudad de Quito hasta el aeropuerto de la ciudad de Santa Rosa, desde donde se procede a tomar la vía de primer orden de la Troncal de la costa (siguiendo el recorrido de Machala – Cambio del Guabo – Ponce Enríquez) hasta llegar a Buenavista en el cual se procede a tomar la vía hacia Shumiral, siguiendo las indicaciones antes mencionadas.

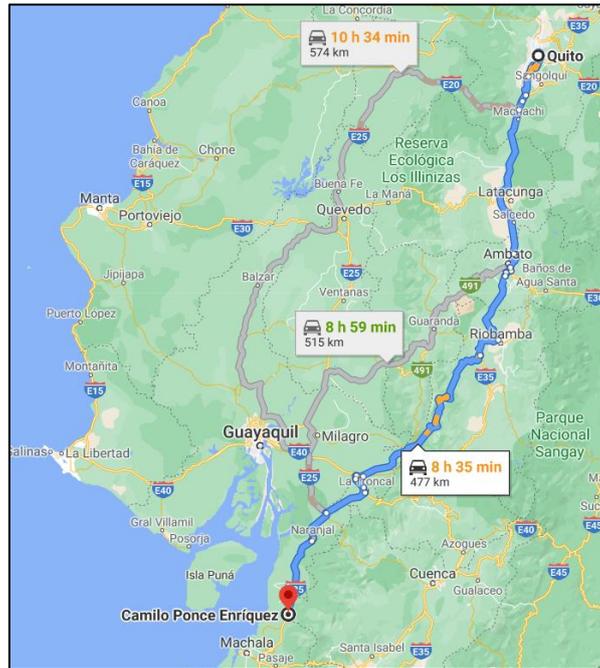


Figura 24: Acceso a la zona de estudio

Fuente: Google Maps

6.3. Levantamiento topográfico

6.3.1. Levantamiento topográfico superficial

La mina “ORO SOL” tiene un área de 24.01 hectáreas contiguas, se encuentra dentro de la concesión RENACER-M3; se ubica al sur de la cordillera occidental y se caracteriza por poseer una topografía irregular la cual comprende cotas que van desde los 1601 hasta los 1695 metros sobre el nivel del mar. La parte más elevada de la zona de estudio se encuentra en la parte norte. El relieve de la zona se puede observar en la figura 25.



Figura 25: Relieve de la zona de estudio

Fuente: El autor



En la parte de infraestructura del campamento se cuenta; Que al lado izquierdo de la boca mina se encuentra el taller mecánico, área administrativa, canchas y su área de máquinas; en su parte sur esta los dormitorios baños y el comedor. Un poco más distante se ubica su escombrera a su lado izquierdo esta la tolva de material mineralizado. En la parte sur a un poco más de 100 metros se encuentra el polvorín y a un lado de este existe piscinas de tratamiento de aguas. Descripción de las infraestructuras ver tabla 23. Existe una única vía de acceso al área minera ubicada a la izquierda del campamento.

Tabla 23: descripción de las infraestructuras

Infraestructura	Dimensión	Descripción
Área de compresores y taller mecánico	323 m ²	En esta área se encuentra la bodega de equipos y maquinaria; se cuenta con un compresor de aire, generador eléctrico a base de diesel, pulmón del compresor, entre otras maquinarias principales. En este se encuentra edificado las oficinas y dormitorios del área administrativa (es un edificio de 3 plantas)
Baños	10.36 m ²	Se encuentran 2 baños y tres duchas para el personal.
Dormitorios y comedor	242.6 m ²	Esta área cuenta con todos los dormitorios para los obreros y el personal de cocina; la cocina y el comedor.
Garaje	15.6 m ²	El área cuenta con espacio para dos automóviles,
Campamento anterior	110 m ²	Se encuentra abandonado
Bodega de desechos	37 m ²	Los desechos son desocupados cada día o cuando sea necesario
Cuyera	23 m ²	Son para uso de consumo del campamento
Bodega de combustible	16 m ²	Posee 3 tanques de 20 galones cada uno
Desechos peligrosos	38 m ²	Se almacena los metales, grasas, aceites y combustibles para su adecuado manejo.
Canchas	586 m ² 197 m ²	Se cuenta con dos canchas una de fútbol y la otra de voleibol
Tolvas para material mineralizado	85 m ³	Se cuenta con dos tolvas que se llenan para su posterior transporte a las adecuadas plantas de beneficio.
Escombrera	3400 m ³	Se almacena el material estéril
Riel	85.7 m	El riel calculado es desde la boca mina hasta las tolvas y la escombrera
Vía	385 m	La vía calculada es desde el campamento hasta la vía principal de conexión entre san Gerardo y Gena

Fuente: el autor

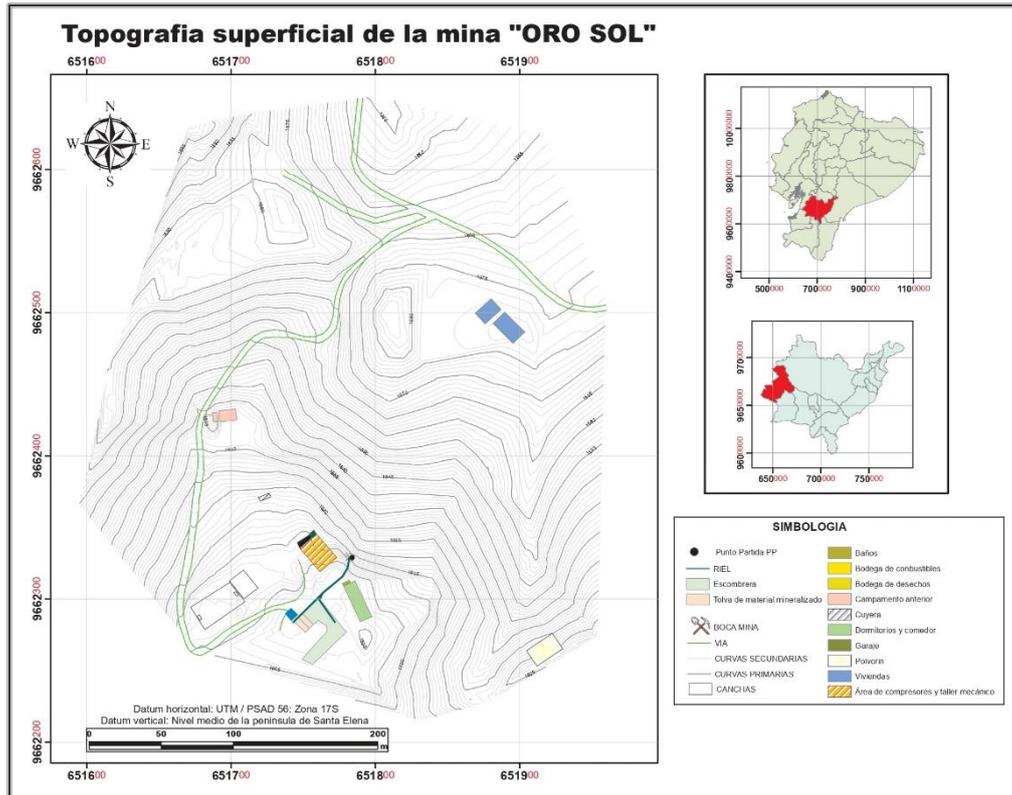


Figura 26: Mapa levantamiento topográfico superficial.

Fuente: el autor

En el análisis de las pendientes se optó por la clasificación según Demek 1972 con la cual se observó que las elevaciones más pronunciadas se encuentran en la parte oeste del área. Los resultados de este análisis son observan en la tabla 24.

Tabla 24: Pendientes de la mina ORO SOL

Clase	Nombre	Rango (°)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1	Plano (planicie)	0° - 2°	0.3098	1.2867
2	Ligeramente inclinado	2° - 5°	0.4429	1.8394
3	Fuertemente inclinado	5° -15°	9.8993	41.1119
4	Muy inclinado	15° - 35°	12.9262	53.6826
5	Empinado	35° - 55°	0.4841	2.0107
6	Vertical	55° - 89.73°	0.0165	0.0687

Fuente: el autor

Las pendientes fuertemente inclinadas son una de las superficies que ocupa gran parte del área minera con un 41.11% la equivale a 9.9 Ha, que se encuentran en la parte norte y centro del área minera. Y es donde esta instalado en campamento de la mina. El mapa de pendientes ver anexo 2.

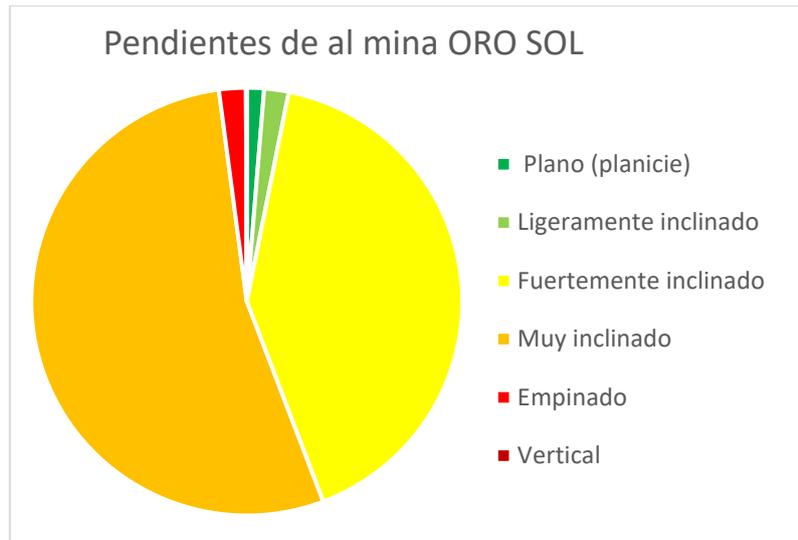


Figura 27: Representación gráfica de pendientes de la mina ORO SOL

Fuente: el autor

El mapa de pendientes se puede observar en la figura 29.

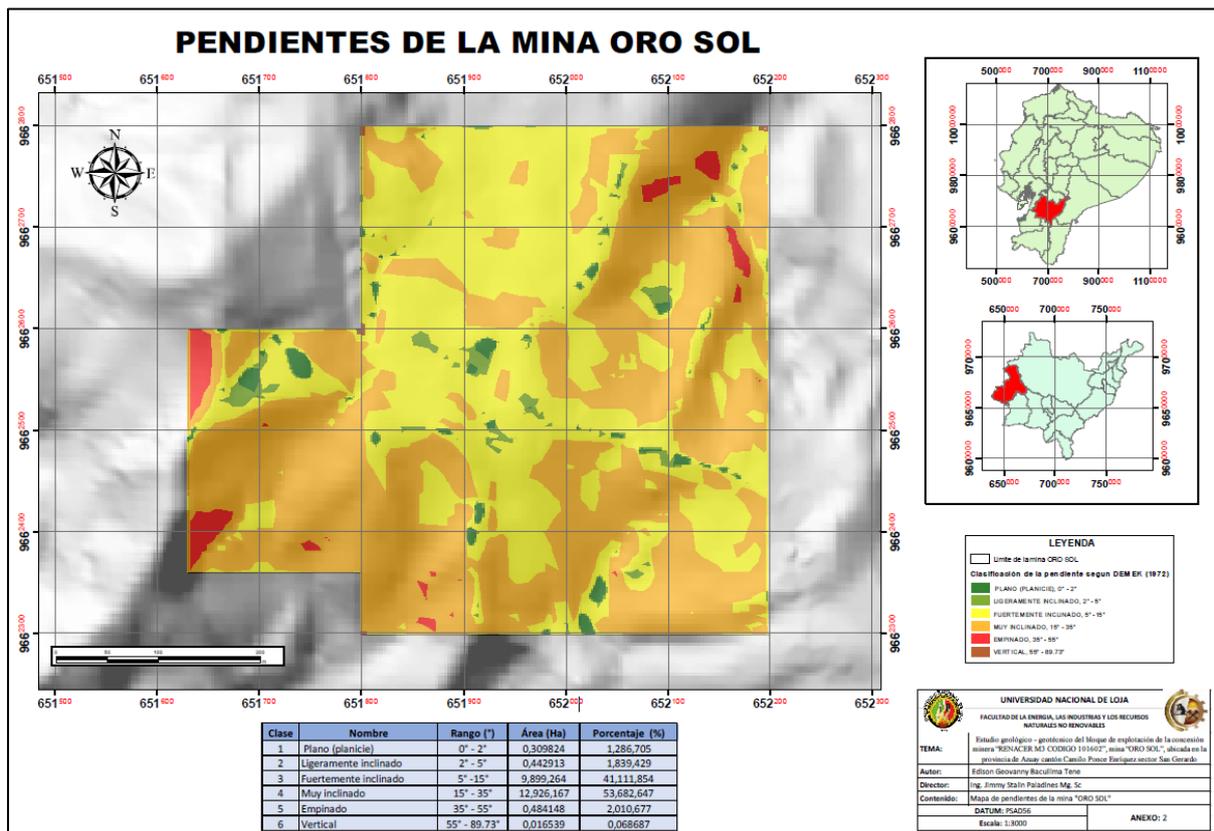


Figura 28: mapa de pendientes de la mina oror sol

Fuente: el autor

6.3.2. Topografía subterránea

El levantamiento subterráneo se los realizo a partir de la boca mina la cual fue georreferenciado con el GPS de mano en ubicado en las coordenadas UTM/PSAD 56/17S:

651783/9362328 Z= 1610 m ver figura 29; se procedió con el trabajo utilizando la estación total y para las zonas con difícil acceso se lo realizó con el método de cinta y brújula.



Figura 29: Punto de partida (Boca mina)

Fuente: El autor

En los primeros 20 metros de la galería principal de transporte se encuentra fortificado con muros de hormigón a los costados y una fortificación metálica ver figura 30. Luego a una longitud de aproximadamente 100 metros se ubica el winche la cual sirve para conectar la galería principal de transporte con las galerías del bloque de explotación.



Figura 30: Fortificación de hormigón en la boca mina

Fuente: El autor

Existe aproximadamente 415 metros de longitud desde la boca mina hasta el frente de explotación ubicado en el tercer nivel. La galería del bloque de explotación de la mina cuenta con un ancho de 1.6 metros y una altura de 1.8 metros en su centro, las galerías son de tipo abovedada, debido a que estas permiten una mejor forma de redistribución de fuerzas.

Desde la galería principal de transporte se conecta a los demás niveles inferiores a través de un pozo de aproximadamente 105 metros de longitud con un Angulo de inclinación de 40°; el cual sirve para transportar el material mineralizado desde el nivel 3 y 4 esto se realiza con la ayuda de un winche; para descripción de las galerías ver tabla 25.

Tabla 25: Descripción de galerías de labores mineras

Nivel	Longitud	Descripción
Primer nivel	1511.22 m aprox.	En el primer nivel existen galerías que no se pueden acceder por seguridad ya que se encuentran abandonadas; en un frente izquierdo aún se encuentra trabajando en exploración por lo que sigue expandiéndose.
Pozo (Winche)	105 m aprox.	Esta conecta los subniveles con el primer nivel para el transporte de material. Posee una inclinación de 40° aproximadamente.
Segundo nivel	241.03 m aprox.	Este nivel se encuentra abandonado. (existen zonas que por seguridad no se permite el acceso)
Tercer nivel	788.21 m aprox.	En este nivel se encuentra el bloque de explotación. Se encuentra con avance por lo que aún está en expansión.
Cuarto nivel	504.69 m Aprox.	Este el ultimo nivel de trabajo; se encuentra el bloque de explotación. Se encuentra en expansión.

Fuente: el autor

Para una mejor referenciación espacial se procedió a realizar el levantamiento topográfico subterráneo en una proyección 3D con ayuda de CivilCad. En el primer nivel se encuentra en apertura de un nuevo frente de trabajo, el nivel dos se encuentra abandonado y en los niveles tres y cuatro se ubica el bloque de explotación de donde se extrae el material mineralizado. La disposición espacial consta en el mapa de la topografía subterránea ver anexo 3. Se detalla brevemente en la siguiente figura 31.

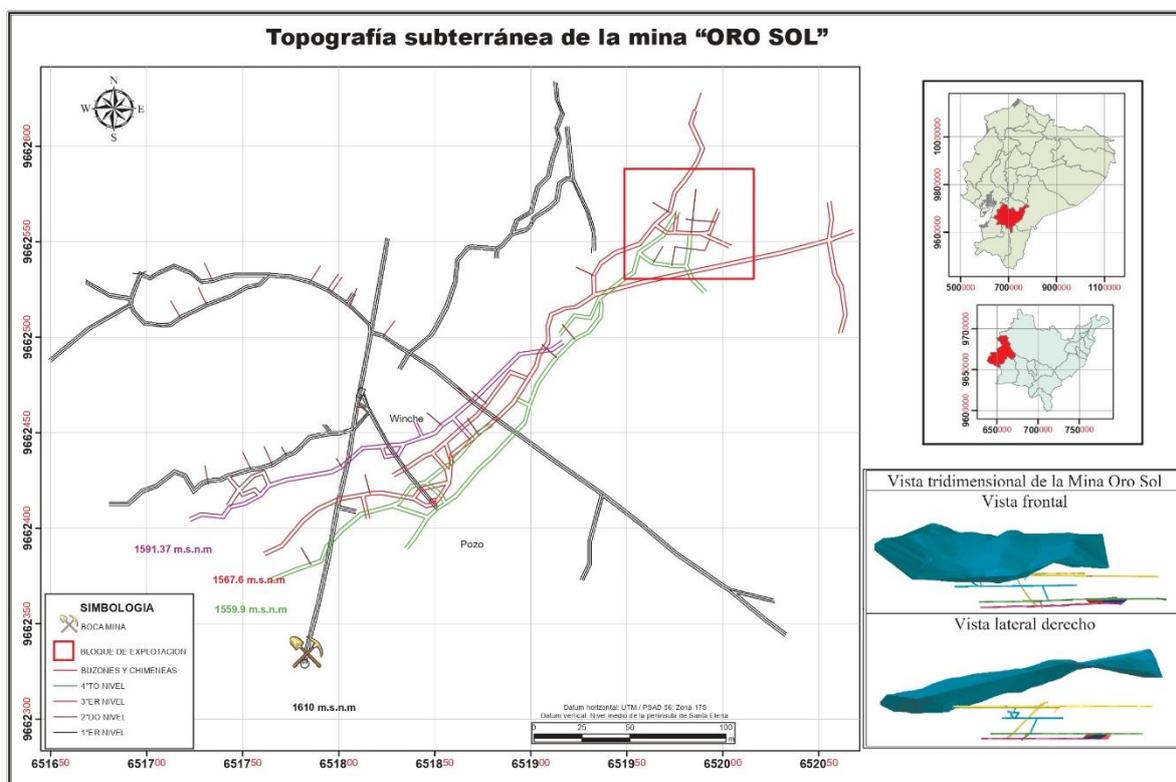


Figura 31: mapa de topografía subterránea

Fuente: el autor



6.4. Geología

6.4.1. Geología regional

La zona de estudio se encuentra de manera general dentro del distrito minero Azuay; en la cual específicamente en una subdivisión metalotectónica de este distrito al que se refiere como distrito de Ponce Enríquez. Según (PRODEMINCA, 2000) el distrito Azuay abarca casi toda la anchura de la cordillera occidental; la cual está atravesada por Cinturón volcánico de Mullepungo. Este enorme Cinturón está constituido de rocas volcánicas de composición ácida, las cuales se encuentran discordantes sobre terrenos metamórficos precretácicos, que constituyen la corteza continental.

Según (Instituto Geográfico Militar, 2017) la cordillera occidental, está constituida por rocas básicas y ultrabásicas de la unidad Pallatanga, sobreyacidas discordantemente por sedimentos marinos turbidíticos del Cretácico inferior-Paleoceno; afloran desde el extremo este del levantamiento Narihuiña hacia el norte de la hoja geológica, además como pequeñas ventanas de erosión directamente al norte de la falla Jubones; se encuentran cubiertas por lavas y piroclastos del Eoceno-Mioceno del Grupo Saraguro, e instruido por plutones granodioríticos del Oligoceno-Mioceno. La acreción de las ofiolitas de fondo oceánico al continente está marcada por estructuras regionales de rumbo noreste-suroeste, representadas por el sistema de fallas Bulubulu que, constituye la sutura entre los terrenos oceánicos y el terreno continental Chaucha. En el aspecto geológico regional se indica en la Figura 32; la cual está constituido por las siguientes formaciones:

- Grupo Saraguro.
- Unidades: Pallatanga, Río Frío.
- Formaciones Las Trancas.
- Rocas Intrusivas: Granodioríticos, Gabros
- Rocas Sub – volcánicas: Pórfido Tonalítico
- Depósitos superficiales Coluviales

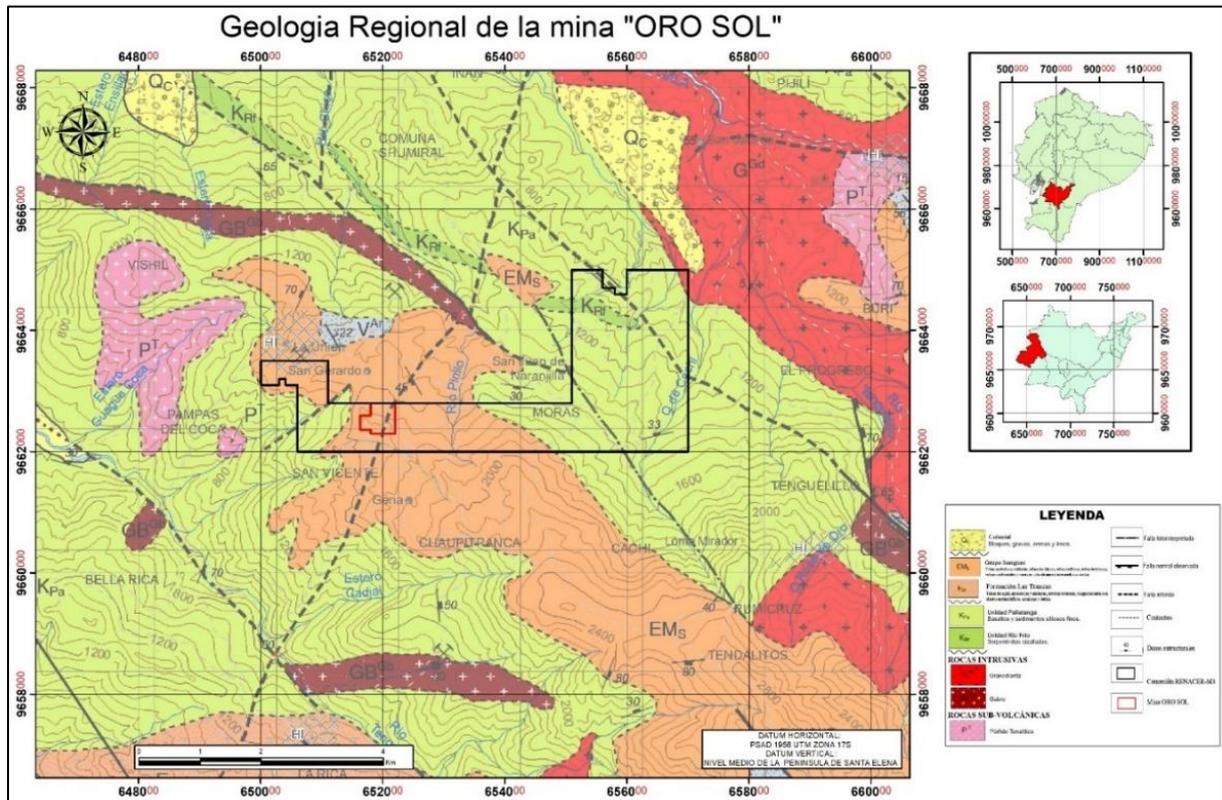


Figura 32: Geología regional

Fuente: (Instituto Geografico Militar, 2017) De la hoja geológica Machala 1 :100000

La descripción geológica fue tomada de la hoja geológica de Machala escala 1:100.000 de (Instituto Geografico Militar, 2017) y de la evaluación de distritos mineros del Ecuador (PRODEMINCA, 2000)

6.4.1.1. Grupo Saraguro

Según (Instituto Geografico Militar, 2017) se extiende por todo el centro-este, desde el norte de la hoja geológica hasta el río Jubones al sur. Descansa discordantemente sobre rocas levantadas del Cretácico superior. La potencia estimada en sectores de mayor acumulación es de 3000 m. (CODIGEM-BGS, 1998). En la zona de interés, se reconocen las Formaciones: Las Trancas, La Fortuna y Jubones. Comprenden: tobas andesíticas, soldadas, verdosas, con abundante plagioclasa, anfíbol y augita (CODIGEM-BGS , 1997); tobas dacíticas, compuestas de feldespato, cuarzo, vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos, en matriz de color marrón claro a violeta; tobas riolíticas, con cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, además de arcilla y calcita, sulfuros diseminados con malaquita y azurita, la roca está meteorizada; tobas brechosas, en afloramientos masivos de rocas volcanoclásticas dacíticas a riolíticas, con presencia de plagioclasa, ±cuarzo, vidrio volcánico, biotita y anfíboles, en sectores, presentan alteración hidrotermal moderada. Además, incluye material volcanosedimentario y cuerpos subvolcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos.



6.4.1.2. Formación Las Trancas

La localidad tipo se ubica en Las Trancas, se extiende hacia el oeste, aflora en la cuenca alta del río Margarita y cuenca media del río Pagua. Se compone de tobas lapillíticas andesíticas y dacíticas, brechas tobáceas, conglomerados con predominio de clastos metamórficos, areniscas y lutitas rojas. Esta unidad tiene predominancia sedimentaria, estratificación de rumbo noroeste-sureste. Sobreyace discordantemente a la Formación Yunguilla y subyace a los volcánicos del Grupo Saraguro. La posición general hacia la base del Grupo Saraguro, hace que se le asigne edad Eoceno tardío.

6.4.1.3. Unidad Pallatanga.

Aflora al noroeste de la zona de investigación, en los sectores de Bella Rica–Tenguelillo, San Juan de Naranjillas, Muyuyacu, Narihuiña y, como ventanas erosionales, en las orillas del río Jubones, sectores de Limón; Calayacu. La unidad contiene basaltos, gabros, sedimentos silíceos finos (chert) y rocas corneanas.

6.4.1.4. Unidad Rio Frio.

Son pequeños cuerpos que afloran en el borde de los basaltos de la unidad Pallatanga al sur de Shumiral. Se compone de serpentinitas producto de uralitización de rocas basálticas y gabros, probablemente exhumadas por un sistema de fallas con dirección noroeste-sureste. Se interpreta a esta unidad como parte de la raíz del basamento oceánico. Dataciones radiométricas por el método Sm/Nd, realizadas por Lapierre et al., (2000), arrojan una edad de 123 ± 13 Ma, para el gabro de la unidad San Juan que aflora al suroccidente de Quito. La edad interpretada para esta unidad en base a estos estudios es Cretácico inferior a Cretácico superior.

6.4.1.5. Rocas Intrusivas y sub-volcanicas

Granodioríticos: Se distribuyen especialmente al oeste de la falla Bulubulu, excepto pequeños stocks que se ubican al este, su tamaño aumenta de pequeños stocks en la orilla norte del río Jubones, hasta cuerpos de varios kilómetros de superficie al extremo norte. Se presentan diaclasados, localmente brechados, textura cristalina a holocristalina, grano medio, con plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, biotita, anfíbol y mineralización de sulfuros diseminados (pirita). La edad se infiere como Eoceno tardío-Mioceno

Pórfido Tonalítico: Representados por los pórfidos de Gaby, Papa Grande, La Unión y pequeñas apófisis vecinos. Se trata de roca ígnea intermedia, con plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita; además de ortosa, titanita, magnetita, zircón. Representa un intrusivo con múltiples pulsaciones magmáticas, con formación de stocks, diques y brechas de diatrema, de



carácter intermedio a ácido. Están estrechamente relacionados con los yacimientos de minerales metálicos de Au, Cu, Mo presentes en la zona, en especial con los depósitos de Au actualmente en explotación. Dataciones en zircones sobre muestras de Gaby y Papa Grande, dieron edad de 20.26 ± 0.06 Ma y 19.89 ± 0.06 Ma, respectivamente.

Cuerpos brechosos, se identifican tanto al interior del intrusivo, como en la roca encajante, las dimensiones son variables en ancho y en profundidad. Diques, resultantes de relleno de fallas y fisuras, se identifican en relación con los intrusivos ácidos, contienen mineralización polimetálica importante en especial de Au. Las brechas y diques constituyen la mena en las explotaciones mineras actuales.

6.4.1.6. Depósitos superficiales Coluviales

Compuestos por fragmentos angulosos a sub-angulosos de tamaño variable entre bloques, gravas, arenas y limos. Se presentan como depósitos de piedemonte, alineados a lo largo de las riberas del río Jubones, en el cambio brusco de pendiente al inicio de la planicie costanera o como rellenos de microcuencas interiores, en los flancos del levantamiento Narihuña.

El grado de compactación ha permitido conservar un gran coluvión en forma de abanico, de aproximadamente 25 km^2 de superficie, al norte del río Jubones, entre los ríos Chaguana y Calayacu. Compuesto de cantos rodados subangulosos, semiredondeados, mal clasificados, predominan los clastos de lavas poligenéticas: basaltos meteorizados, fragmentos de riolita, ignimbrita, dacita, eventualmente sedimentos (lutitas y calizas negras). El material es semiconsolidado, en matriz areno-limo-arcillosa.

6.4.1.7. Geología estructural

Según (PRODEMINCA, 2000) El campo minero San Gerardo está delimitado por varias fallas de rumbo NW-SE: Río Tenguel, en el Sur y Río Chico y Río Tenguelillo (afluente del Río Gala), en el Norte. Al NNE-SSW y N-S, en el campo minero de San Gerardo las fallas de segundo orden con este rumbo incluyen Estero, La Ensellada, Estero Coca y las quebradas Cachi y Fría. Los patrones de desplazamiento de las unidades, local y regionalmente, indican un movimiento dextral. Fallas como La Ensellada y Quebrada Fría buzan $40-45^\circ$ hacia el W(NW) y muestran movimiento dextral inverso.

La falla río Chico: contiene un relleno de serpentinita, es la estructura más importante para la interpretación y modelo de los controles de la mineralización aurífera del campo minero San Gerardo. La zona está compuesta por cinturones anastomosados de serpentinita, situado



alrededor de cuerpos elipsoidales a lenticulares de microgranodiorita /cuarzodiorita horblendica. La falla principal que sigue el curso de agua es subvertical, con una dirección que varía entre NW-SE y EW y contiene rocas máficas y ultramáficas fuertemente cizalladas. La asociación litológica incluye serpentina y esquistos de clorita-serpentina

Según (Instituto Geografico Militar, 2017) regionalmente atraviesan 3 sistemas principales de discontinuidades en la cual zona se ubica en SISTEMA NE-SW. Marca la configuración del bloque oceánico acrecionado al continente, orienta la distribución de los productos volcánicos y está en relación con las ocurrencias minerales en zonas de metalotectos favorables, se encuentra cubierto por los depósitos volcanoclásticos del Paleógeno y Neógeno.

- Las principales estructuras de este sistema son las fallas Bulubulu, La Tigrera, San Gerardo y una serie de fallas locales segmentadas que llegan a formar cola de caballo. La falla Bulubulu junto a la falla La Tigrera, son responsables del levantamiento Narihuiña, en cuya cima afloran rocas del basamento Pallatanga. Este sistema es posterior a la falla Jubones, pero, anterior al sistema noroeste-sureste.

6.4.2. Geología local

La litología predominante de la zona de estudio se encuentra principalmente sobre la formación del grupo Saraguro la cual está compuesta por lavas andesíticas y riolíticas.

Según la observación y caracterización de los afloramientos encontrados en el área de estudio, esta compuestas en su totalidad por rocas ígneas, de composición andesítica. En donde no se pudo observar roca fresca en los afloramientos caracterizado solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente identificada en interior mina; se presentaron vetillas de cuarzo que se pudo constatar en un afloramiento. Para la descripción de afloramientos ver anexo 8. La geología local se resume en la tabla 26.

Tabla 26: Resumen de la geología local

Geología	Grupo Saraguro conformadas por rocas volcánicas de composición intermedia a silícea calco-alcalina; que incluye material volcanosedimentario y cuerpos subvolcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos. En este grupo predominan composiciones andesíticas a dacíticas.
Litología	Saprolito andesítico (en superficie), andesita basáltica, toba dacítica y andesita propilitica.
Edad	Cenozoico (Eoceno)

Estructuras	La cordillera principal tiene orientación NE con rumbo entre N30°E a N40°E, la veta mineral se encuentra orientada con rumbo NE entre 30 a 45 grados, luego continúa extendiéndose hacia el Este.
Alteración	La alteración propilítica (clorita Fe-epidota), carbonatos y clorítica; está relacionada con mineralización aurífera. Las volcanitas dacíticas se caracterizan por una alteración de sílice-carbonato-arcillas
Mineralización	Las vetas comprenden asociaciones de cuarzo-carbonato auríferas. Los contenidos de sulfuros son bajos. incluyen pirita y arsenopirita con cantidades subordinadas de calcopirita, esfalerita y trazas de galena. El oro se presenta libre y diseminado.

Fuente: el autor

En los afloramientos analizados se evidencia la meteorización de andesita y toba dacítica por lo que se evidencia suelos lateríticos con tonalidades pardo oscuro constituido de material arenoso arcilloso con abundante óxido de hierro como se evidencia en la figura 33.

La cual se denominó saprolito andesítico. Se encuentra cubiertas con capas de suelo orgánico entre 10 a 25 cm de potencia. Con vegetación principalmente a herbácea.



Figura 33: Saprolito andesítico presente en los afloramientos

Coordenadas UTM/PSAD 56: 651773/9662332 Z= 1616m Fecha: 05/2021

Coordenadas UTM/PSAD 56: 651784/9662329 Z= 1610m Fecha: 05/2021

Fuente: El autor

También se observó la presencia de stockwork de cuarzo la cual se encuentra altamente meteorizada por lo que es extremadamente blanda, esta estructura aflora al sur de la boca mina (FOS-07). Esta estructura se puede ver en la figura 34. Su matriz está constituida de saprolito andesítico de color pardo oscuro con oxidación de hierro.



Figura 34: Stockwork de cuarzo en afloramiento.

Coordenadas UTM/PSAD 56: 651708/9662212 Z= 1602m Fecha: 05/2021

Fuente: el autor

A manera de cuerpos irregulares con textura afanítica de tonalidad intermedia se observó un talud de andesita meteorizada. En la cual se pudo tomar datos estructurales con un rumbo de sentido NE-SW. Como se observa en la figura 35.



Figura 35: afloramiento de roca andesítica altamente meteorizada.

Coordenadas UTM/PSAD 56: 651784/ 9662329 Z= 1610m Fecha: 05/2021

Fuente: el autor

Dentro del área de estudio se encuentra representada litológicamente por andesita y saprolito andesítico con presencia de óxido de hierro lo que ocasiona la formación suelo lateríticos (caracterizado por la pobreza en sílice y su elevada cantidad de hierro). Para mapa geológico estructural superficial ver anexo 5. Se puede observar en la figura 36.

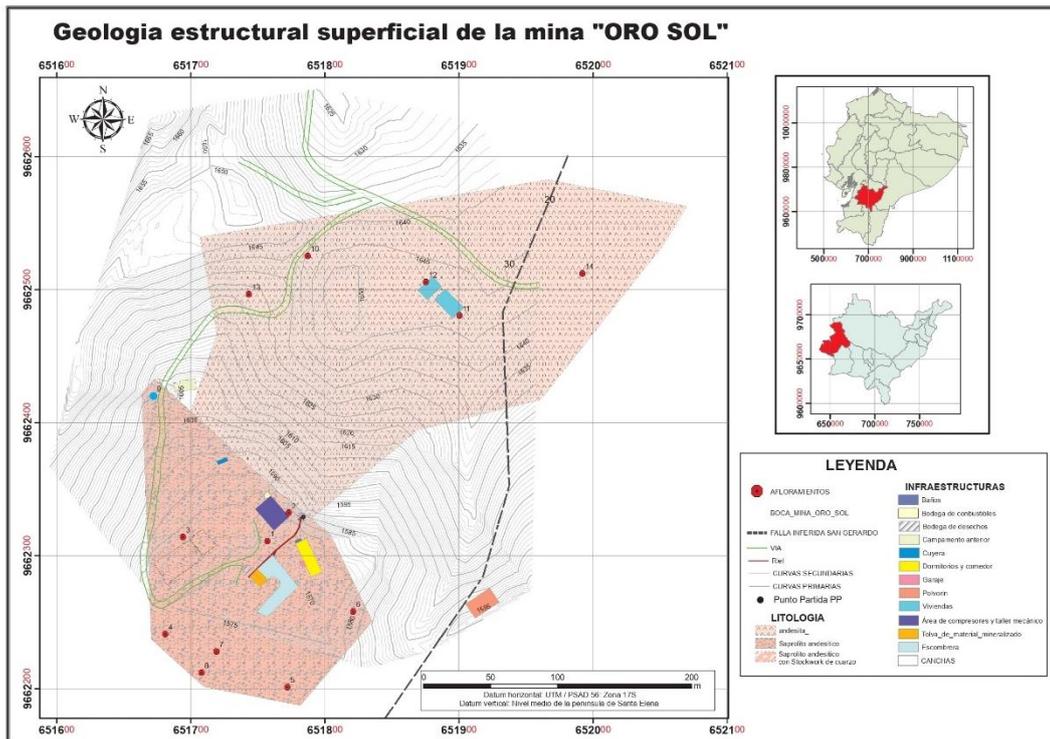


Figura 36: Mapa geológico estructural superficial

Fuente: el autor

6.4.2.1. Geología subterránea: descripción de la litología de la galería del bloque de explotación.

Para realizar la descripción litológica del bloque de explotación se tomaron 16 muestras de mano para una caracterización macroscópica, la ubicación de los puntos de muestreo se los detallo anteriormente en la tabla 5.

Como se mencionó anteriormente para acceder a el bloque de explotación de debe recorrer 100 metros desde la boca hasta el pozo el que tiene una inclinación de 40° se desciende 65 m de longitud (a una profundidad de 43m desde el primer nivel); hasta llegar al tercer nivel donde se encuentra el frente de trabajo. La galería del bloque de explotación se encuentra paralela a la veta mineralizada por lo que a lo largo del bloque se encuentra la principal discontinuidad que se refiere a la veta; también se encuentran fallas lo que ocasiona cierto cambio litológico en tramos cortos.

En los primeros 80m de la galería del bloque de explotación contando desde el pozo se encuentra andesita con textura afanítica con una tonalidad oscura en la cual se tomó la muestra de mano EOS-01 en esta se puede observar cristales de cuarzo y presencia de carbonatos ya que reacciona al HCL, después de los 80m se encuentra una fortificación de madera de 24m aproximadamente donde presenta goteo de agua desde el techo, en el tramo de la fortificación

presenta material altamente meteorizado y disgregado de tonalidad blanca como se muestra en la figura 37, después de la fortificación de madera presenta un flujo de agua desde el techo.



Figura 37: material disgregado presente en la fortificación
Ubicación: a 72.7m del pozo en el 3er nivel Fecha: 05/2021
Fuente: el autor

Luego de este tramo se presenta de andesita con feldespatos meteorizados con presencia de óxidos de hierro dándole una tonalidad amarillenta; también presenta efervescencia ante el HCl por lo tanto presenta carbonatos, se evidencia ligeros cambios de composición de roca sin embargo no se define un contacto definido ya que corresponde igualmente a andesita, por lo que se tomó la muestra EOS-02; esto se presenta hasta los 185m del bloque de explotación.

A los 200m aproximadamente se presenta un cambio de rumbo de la veta mineralizada o una ramificación de la veta en la cual se está explotando actualmente. En esta bifurcación el lado izquierdo se encuentra en explotación y el lado derecho se ha abandonado por inestabilidad de la galería (posible presencia de falla). Se tomo la muestra EOS-03 en el punto de la bifurcación y la composición de la roca sigue siendo parecida a los tramos anteriores; se tomó una muestra del relleno de la veta en la que se observa una baja dureza con una tonalidad gris oscura, con aspecto bandeado al estar hidratada toma una textura barroza.



Figura 38: Cambio de rumbo de la veta
Ubicación: a 198.8m del pozo en el 3er nivel Fecha: 05/2021
Fuente: El autor

La composición de la roca cambia levemente presentando andesita con una tonalidad más clara de lo encontrado en los tramos anteriores, presenta mineralización de pirita y galena la muestra EOS-04 corresponde a este tramo, presenta varias discontinuidades, está dentro de la zona del frente de explotación actual, presenta fracturas angulosas e irregulares con una estructura prácticamente afanítica, aunque en algunos puntos se observaron mineralizaciones de grano fino (<1mm). No presenta ningún tipo de fenocristal, se encuentra escasamente meteorizada, también reacciona al HCl. En este punto la galería se divide en dos galerías siguiendo las vetas.

A sus 220m en la galería del bloque de explotación se han tomado dos muestras EOS-05 y EOS-06 debido a que la galería presenta una bifurcación la cual en las muestras de roca presentan un tono claro verdoso (posiblemente desarrollo propilítico) presentando alta dureza y vetillas de cuarzo. Sobre esta galería a través de un buzón se ingresa a la veta explotada la cual presenta una roca encajante de andesita con una tonalidad gris oscura y la mayor parte de la roca consiste en un gran cristal de cuarzo lechoso conteniendo dichas mineralizaciones; tiene una densidad media y una resistencia muy dura.

La galería del bloque de explotación a sus 180m se encuentra una bifurcación en la cual a su lado izquierdo se encuentra en explotación y expansión, y a su lado izquierdo se encuentra abandonado la cual presenta un alto flujo de agua (partes inundadas con unos 30cm de agua) e inestabilidad; a una distancia de 125m de la bifurcación de aquí se tomó la muestra EOS-08 el fragmento de la roca está altamente meteorizada y fácil de fracturar (se parte con las manos) con una tonalidad gris oscura y tiene presencia de stockwork de cuarzo. Como se puede ver en la figura 39.



Figura 39: Galería abandonada inundada y stockwork de cuarzo
Ubicación: a 267.5m del pozo en el 3er nivel (galería abandonada) Fecha: 05/2021
Fuente: El autor



La muestra EOS-09 se la tomo al final del pozo al lado derecho (cuarto novel) y la muestra EOS-10 al lado derecho estas muestras poseen un color gris oscuro con textura afanítica y presencia de vetillas de cuarzo, en la muestra EOS-10 se observa una drusa de cuarzo.

La muestra EOS-11 se la tomo a los 115m del pozo del cuarto nivel la composición de la roca es de textura afanítica bandeada con vetas de cuarzo y presenta un color gris intermedio.

A los 135m se observa un mínimo cambio en la textura de la roca presentando textura prácticamente afanítica, aunque en algunos puntos se observaron fenocristales de grano fino (<1mm), tiene una tonalidad gris clara.

A los 160m se observa la roca medianamente meteorizada con oxidación dándole colores marrones y con un aspecto bandeado con vetas milimétricas de cuarzo también alguna banda verdosa, posiblemente, debido a alteración propilítica (epidota y clorita), la roca en si posee color gris intermedio y textura afanítica. Se refiere a la muestra EOS-14

A las 175m se encuentra la bifurcación de galerías donde se presenta el cambio de rumbo de la veta mineralizada o una ramificación de la veta antes mencionado en este punto se tomó la muestra EOS-13 en el que se observa una tonalidad gris clara con alta presencia de cuarzo lechoso y pequeñas tonalidades marrones debido a oxidaciones.

Se continuo con el lado derecho de la bifurcación donde se encuentra el frete de explotación las rocas presentan una textura afanítica con color gris claro y alta presencia de cuarzo, la roca presenta un alto contenido de agua y presenta inestabilidades debido a su baja dureza y resistencia. En este punto se tomó la muestra EOS-15 y a sus 10 m la muestra EOS-16 representando el fin del bloque de explotación.

6.4.2.2. Descripción macroscópica de las muestras de mano

En las tablas 27 a la 41 se realiza la descripción macroscópica de las muestras de mano tomadas del bloque de explotación de la mina “Oro Sol”.

Tabla 27: Descripción tomada del 3er nivel a 12m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-01	Coordenadas PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651855 Y: 9662423	
Color Gris Oscuro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita basáltica		
Observaciones Presenta una alta dureza y vetillas de cuarzo con microdrusas de cuarzo; con presencia de carbonatos (efervescente con el HCl)		

Fuente: El autor

Tabla 28: Descripción tomada del 3er nivel a 184m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-02	Coordenadas PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651953 Y: 9662549	
Color Gris intermedio		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Roca algo meteorizada con presencia de óxido de hierro y con presencia de carbonatos (efervescente con el HCl).		

Fuente: El autor

Tabla 29: Descripción tomada del 3er nivel a 200m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-03	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651964 Y: 9662560	
Color	Gris oscuro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita basáltica	
Observaciones	Posee un aspecto bandeado presenta tonalidades verdosas (alteración propilitica)	

Fuente: El autor

Tabla 30: Descripción tomada del 3er nivel a 230m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-04	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651992 Y: 9662554	
Color	Gris intermedio	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Se encuentra con roca caja y parte veta, presenta carbonatos, presenta mineralización de galena y pirita. Posee vetillas de cuarzo.	

Fuente: El autor

Tabla 31: Descripción tomada del 3er nivel a 245m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-05	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651997 Y: 9662567	
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Presenta carbonatos y cuarzo con mineralización de pirita. Posee microcristales negros de piroxeno	

Fuente: El autor

Tabla 32: Descripción tomada del 3er nivel a 220m desde el pozo (sobre buzón en veta mineralizada)

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-07	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651981 Y: 9662562	
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Es principalmente roca mineralizada con alta presencia de vetillas de cuarzo lechoso presencia de oro y presencia de carbonatos	

Fuente: El autor

Tabla 33: Descripción tomada del 3er nivel a 275m desde el pozo (en galería abandonada bifurcación a 150m del pozo)

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-08	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 652054 Y: 9662552	
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Roca con muy baja dureza con aspecto bandeado en laminas, medianamente meteorizado		

Fuente: El autor

Tabla 34: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 9m desde el pozo lado derecho

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-09	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651858 Y: 9662416	
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita basáltica		
Observaciones Presencia de microcristales de piroxeno olivino y baja presencia de cuarzo con tonalidad verdosa (alteración propilitica) y presencia de carbonatos.		

Fuente: El autor

Tabla 35: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 6m desde el pozo lado izquierdo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-10	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651846 Y: 9662407	
Color	Gris oscuro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita basáltica	
Observaciones	Roca con bandeamiento y vetillas de cuarzo y presencia de drusas	

Fuente: El autor

Tabla 36: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 125m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-11	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651928 Y: 9662502	
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Presenta vetillas de cuarzo con presencia de piroxeno y olivino. Algo meteorizada con oxidación de hierro	

Fuente: El autor

Tabla 37: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 145m desde el pozo (galería regresa)

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-12	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651931 Y: 9662509	
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presencia de microcristales de piroxeno olivino y con presencia de vetillas de cuarzo; posee tonalidad verdosa (alteración propilitica) y presencia de carbonatos.		

Fuente: El autor

Tabla 38: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 179m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-13	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651957 Y: 9662546	
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presencia tonalidad verdosa (alteración propilitica) y presencia de carbonatos. Algo meteorizada		

Fuente: El autor

Tabla 39: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 167m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-14	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651953 Y: 9662535	
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Roca algo meteorizada con tonalidades verdosas y presencia de óxido de hierro.	

Fuente: El autor

Tabla 40: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 198m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-15	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651974 Y: 9662538	
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Granulometría	Grano fino	
Nombre de la roca	Andesita	
Observaciones	Posee vetillas de cuarzo lechoso; tonalidades oscuras se observa microcristales de negros de piroxeno	

Fuente: El autor

Tabla 41: Descripción tomada del 4er nivel (fin de pozo) a 205m desde el pozo

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código EOS-16	Coordenada PSAD-56	
Tipo de Roca Ígnea- volcánica	X: 651980 Y: 9662538	
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presenta vetillas de cuarzo lechoso con alta dureza y microcristales de piroxeno.		

Fuente: El autor

6.4.2.3. Estructuras y mineralización

En el área de estudio las estructuras encontradas corresponden a fallas, vetas, vetillas, fracturas y diaclasas. Las condiciones in situ las vetas son rellenos de las fallas y diaclasas preexistentes en los cuales se presenta la mineralización debido a que las discontinuidades se han presentado como el camino por el cual han circulado los fluidos mineralizados.

Según (Instituto Geografico Militar, 2017) la zona de estudio se ubica en SISTEMA de falla con rumbo NE-SW las principales estructuras de este sistema son las fallas Bulubulu, La Tigrera, San Gerardo y una serie de fallas locales segmentadas que llegan a formar cola de caballo.

La veta mineral se tienen dirección preferencial hacia el NW entre 30 a 45 grados de inclinación, luego continúa extendiéndose hacia el Este. Según estas condiciones se ha desarrollado las labores mineras siguiendo esta dirección por lo tanto actualmente se encuentran en explotación en el tercer y cuarto nivel; la veta mineralizada continúa profundizándose con un ángulo de buzamiento entre 30° a 40° con dirección SW. El fallamiento se puede observar en la figura 40.



Figura 40: falla de segundo orden que atraviesa las galerías del bloque de explotación
Ubicación: a 128 m del pozo en el 2do nivel al lado este. Fecha: 05/2021

Fuente: El autor

Según los estudios realizados por (PRODEMINCA, 2000) la mineralización de la zona de estudio es conocida por sus depósitos de Cu, Au, Mo en pórfidos, vetas, brechas y stockworks que se encuentran albergados principalmente en rocas volcánicas; considerándose un yacimiento de tipo Epi – Mesothermal.

Las vetas en la mina Oro Sol comprenden asociaciones de cuarzo-carbonato auríferas, el oro se encuentra frecuentemente libre y diseminado como se observa en las figuras 41 y 42.



Figura 41: Muestras con Au diseminado en el bloque de explotación

Ubicación: a 229m del pozo en el 3er nivel (en frente de trabajo) Fecha: 05/2021

Fuente: el autor



Figura 42: Análisis macroscópico de muestra de mano con contenido de Au
Ubicación: a 235m del pozo en el 3er nivel (frente de trabajo) Fecha: 05/2021
Fuente: el autor

Los minerales de mena que se encuentran frecuentemente son Pirita, calcopirita, galena, esfalerita; y los minerales de ganga Cuarzo, epidota, calcita, clorita. Ver figura 43.



Figura 43: Minerales de mena (pirita, galena y calcopirita) y ganga (epidota y calcita)

Fuente: el autor

Para geología estructural local superficial se puede observar su mapa en el anexo 5 y la geología estructural subterránea ver anexo 6.

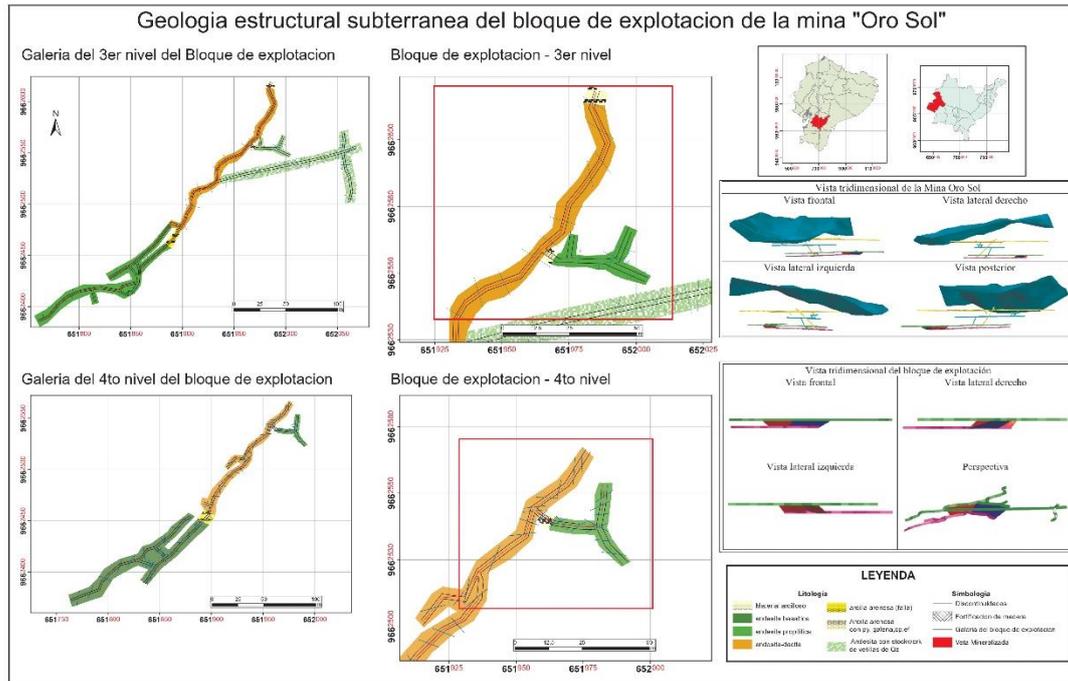


Figura 44: Mapa de geología estructural subterráneo
 Fuente: el autor

6.5. Caracterización geomecánica del macizo rocoso

6.5.1. Análisis de las propiedades Físico – Mecánicas de las rocas

El análisis de las propiedades del macizo, se recolectó cuatro muestras de roca de caja, cuyos ensayos se procedió a realizarlos en el laboratorio ESTSUELCON Cía. Ltda. de la ciudad de Loja los resultados se observan en el Anexo 9. a continuación, se detalla cada uno de ellos.

6.5.1.1. Densidad y Peso Específico.

Los resultados de la densidad y peso específico realizado en el laboratorio a las cuatro muestras se encuentran en la tabla 42:

Tabla 42: Resultados de ensayos de densidad y peso específico.

Código	Descripción	Densidad (gr/cm ³)	Peso específico (N/m ³)
M1-OS	Andesita basáltica	2.69	26379.88
M2-OS	Andesita dacítica	2.88	28243.15
M3-OS	Andesita propilitica	2.65	25987.62
M4-OS	Andesita propilitica	2.67	26183.75

Fuente: Laboratorio ESTSUELCON Cía. Ltda.

El resultado de la densidad de las 4 muestras analizadas está entre un rango de 2.65 y 2.88 gr/cm³, dando como 2.72 gr/cm³ de densidad promedio de las cuatro muestras. El peso específico se encuentra entre 28243.15 y 25987.62 N/m³, dando un promedio de 26698.60 N/m³ de las cuatro muestras.

6.5.1.2. Resistencia a compresión simple.

Se realizó ensayos de compresión simple a las 4 muestras las cuales fueron tomadas en las secciones determinadas de la galería del bloque de explotación obteniendo los siguientes resultados ver tabla 43.

Tabla 43: Resultados de los ensayos de compresión simple

Muestra	Masa (gr)	Carga (Kg)	Volumen (cm ³)	Esfuerzo(kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)
M1-OS	773.73	7260.26	248.26	348.004	34.128
M2-OS	819.51	6485.29	191.15	371.164	36.399
M3-OS	753.00	4517.27	224.9	216.525	21.234
M4-OS	759.07	9656.56	186.43	561.485	55.063

Fuente: Laboratorio ESTSUELCON Cía. Ltda.

También se realizó la comparación con los datos obtenido en el campo mediante el uso del martillo Schmidt (esclerómetro) como se indica en la figura 45. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 44.



Figura 45: Uso del martillo Schmidt

Fuente: el autor

Tabla 44: Resistencia a la compresión simple mediante el martillo Schmidt

Tramo	5 valores más altos de rebotes en la Rx con el esclerómetro					Promedio R _N	Corrección de promedio R _L	Resistencia a la compresión simple Mpa	Resultados de muestras de laboratorio
1	42	42	40	40	40	40.8	26.96	37	34.128
2	44	44	42	40	40	42	27.92	38	34.128
3	46	44	44	42	40	43.2	28.88	39	36.399
4	46	46	44	44	42	44.4	29.84	40	36.399
5	38	36	34	32	32	34.4	21.84	28	21.234
6	38	36	36	34	34	35.6	22.80	28	21.234
7	46	42	40	46	50	44.8	30.16	45	55.063
8	58	46	50	52	48	50.8	34.97	55	55.063
9	36	38	40	36	32	36.4	23.44	30	34.128
10	40	40	38	36	36	38	24.72	30	34.128



11	44	42	42	40	40	41.6	27.60	38	36.399
12	44	44	42	42	40	42.4	28.24	39	36.399
13	34	34	36	36	30	34	21.52	28	21.234
14	34	34	36	36	38	35.6	22.80	28	21.234
15	48	46	46	44	44	45.6	30.81	45	55.063
16	48	50	48	46	46	47.6	32.41	51	55.063

Fuente: El autor

6.5.1.3. Resistencia a la tracción.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción se encuentran en la tabla 45.

Tabla 45: Resultados de la resistencia a la tracción (Fortaleza) de las muestras

Muestra	Descripción	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia a la Tracción (f)
M1-OS	Andesita basáltica	348.004	3.48
M2-OS	Andesita dacítica	371.164	3.711
M3-OS	Andesita propilitica	216.525	2.165
M4-OS	Andesita propilitica	561.485	5.614

Fuente: Fuente: Laboratorio ESTSUELCON Cía. Ltda.

6.5.2. Determinación de las características del macizo rocoso

Para la caracterización del macizo rocoso del bloque de explotación se procedió a dividirlo en 16 tramos para los cuales se procedió a realizarlo a través de las metodologías de Bieniawski (RMR), GSI (índice de calidad del macizo rocoso), y clasificación de Barton.

Los cálculos por cada una de las metodologías antes mencionadas se observan en el Anexo 10, el resumen y análisis de los resultados de cada uno de los tramos se los detalla a continuación.

El primer tramo este compuesto por litología de andesita basáltica y corresponde a un macizo rocoso medio de Clase III según Bieniawski y el índice Q de Barton. Sus resultados del cálculo geo mecánicos se detallan en la tabla 50.

Tabla 46: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 1

RESULTADOS	
Tramo 1	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	34.128
RQD (%)	85.3
RMR Básico	62
RMR Corregido	52
RMR seco	57
Q de Barton	5.630
GSI	62
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	36

Fuente: El autor



En el tramo dos comprende andesita dacítica con una calidad del macizo rocoso medio de clase II y presenta un RQD de 82% y según la clasificación del índice de Barton se considera un macizo rocoso malo, los resultados geomecánicos ver tabla 47.

Tabla 47: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 2

RESULTADOS	
Tramo 2	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	36.399
RQD (%)	82
RMR Básico	58
RMR Corregido	48
RMR seco	66
Q de Barton	3.608
GSI	61
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	300-400
Angulo de fricción (°)	34

Fuente: El autor

El tramo tres está compuesto por andesita dacítica la cual presenta resistencia a la compresión simple de m 36.399 MPa con un RQD de 72.1 % y un RMR de 54 considerándose un macizo rocoso medio de clase III. Ver tabla 48.

Tabla 48: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 3

RESULTADOS	
Tramo 3	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	36.399
RQD (%)	72.1
RMR Básico	54
RMR Corregido	44
RMR seco	59
Q de Barton	2.115
GSI	54
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	32

Fuente: El autor

El tramo cuatro comprende andesita propilitica con un RMR de 54 de clase III denominado macizo rocoso medio con un RQD de 82%, según la clasificación del índice de Q de Barton es un macizo rocoso malo. Los resultados se encuentran en la tabla 49.



Tabla 49: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 4

RESULTADOS	
Tramo 4	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	21.23
RQD (%)	82
RMR Básico	54
RMR Corregido	44
RMR seco	62
Q de Barton	1.804
GSI	57
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	32

Fuente: El autor

En el tramo 5 también se encuentra con litología de andesita con alteración propilitica el maciso rocoso es medio de clase III. Ver tabla 50.

Tabla 50: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 5

RESULTADOS	
Tramo 5	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55.063
RQD (%)	85.3
RMR Básico	55
RMR Corregido	45
RMR seco	60
Q de Barton	1.877
GSI	55
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	300-400
Angulo de fricción (°)	32.5

Fuente: El autor

En el tramo seis se encuentra con andesita propilitica y en medio de la veta de fallas se encuentra material arcilloso con una las paredes ligeramente húmedas y presenta un RQD de 82%; según su RMR calculado se denomina macizo rocoso medio. Ver tabla 51.

Tabla 51: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 6

RESULTADOS	
Tramo 6	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55.063
RQD (%)	82
RMR Básico	57
RMR Corregido	47
RMR seco	62



Q de Barton	3.608
GSI	57
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	33.5

Fuente: El autor

En el tramo siete se encuentra una roca competente con una resistencia a la compresión de 55.06 Mpa y con un RQD de 88.6% denominándose un macizo medio. Ver tabla 52.

Tabla 52: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 7

RESULTADOS	
Tramo 7	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55.063
RQD (%)	88.6
RMR Básico	58
RMR Corregido	58
RMR seco	63
Q de Barton	1.949
GSI	58
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	34

Fuente: El autor

En el tramo ocho se presenta andesita con stockwork de vetillas de Qz presentándose alterado y material disgregado con la galería inundada presentando goteo y en secciones hasta flujo de agua. Denominándose con RMR de macizo rocoso malo de clase IV y muy malo según el índice Q de Barton. Resultados ver tabla 53.

Tabla 53: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 8

RESULTADOS	
Tramo 8	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	21.234
RQD (%)	68.8
RMR Básico	40
RMR Corregido	35
RMR seco	51
Q de Barton	0.229
GSI	46
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	25

Fuente: El autor

En el tramo nueve se presenta andesita basáltica y un RQD de 88.6% y baja presencia de agua y un RMR de 59. Ver resultados en tabla 54.



Tabla 54: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 9

RESULTADOS	
Tramo 9	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	34.128
RQD (%)	88.6
RMR Básico	59
RMR Corregido	49
RMR seco	64
Q de Barton	2.924
GSI	59
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	34.5

Fuente: El autor

El tramo diez comprende andesita basáltica con presencia de agua y ligeramente alterada; con un RMR de 56 considerado medio de clase III y un Q de Barton de 2.7 siendo un tipo de macizo malo. Ver tabla 55.

Tabla 55: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 10

RESULTADOS	
Tramo 10	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	34.128
RQD (%)	82
RMR Básico	56
RMR Corregido	46
RMR seco	64
Q de Barton	2.706
GSI	59
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	33

Fuente: El autor

El tramo once presenta una resistencia de 34.128 Mpa con presencia de litología de andesita basáltica; este tramo posee un RQD de 85.3 % y su RMR corresponde a un macizo medio de clase III. Ver tabla 56.

Tabla 56: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 11

RESULTADOS	
Tramo 11	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	34.128
RQD (%)	85.3
RMR Básico	56
RMR Corregido	46



RMR seco	64
Q de Barton	2.815
GSI	59
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	33

Fuente: El autor

El tramo doce es compuesto por andesita dacítica con tonalidades rijosas por la oxidación de hierro con RQD de 88.6 % con baja presencia de agua y relleno duro; presenta un RMR de 56 considerándose medio y según el índice Q de Barton en un macizo malo. Ver tabla 57.

Tabla 57: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 12

RESULTADOS	
Tramo 12	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	34.128
RQD (%)	88.6
RMR Básico	56
RMR Corregido	46
RMR seco	64
Q de Barton	2.924
GSI	59
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	33

Fuente: El autor

En el tramo trece se observa baja presencia de agua con relleno blandos de material arcilloso con litología de andesita dacítica con un RQD de 88.6%, de un RMR medio. Ver tabla 58

Tabla 58: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 13

RESULTADOS	
Tramo 13	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	36.399
RQD (%)	88.6
RMR Básico	55
RMR Corregido	45
RMR seco	60
Q de Barton	1.949
GSI	55
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	32.5

Fuente: El autor

El tramo catorce presenta andesita dacítica con presencia de agua ligeramente alterada, y relleno blando de material arcilloso. Su RQD es de 82 % con un RMR medio. Ver tabla 59.



Tabla 59: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 14

RESULTADOS	
Tramo 14	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	21.234
RQD (%)	82
RMR Básico	52
RMR Corregido	42
RMR seco	60
Q de Barton	2.706
GSI	55
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	31

Fuente: El autor

En el tramo quince presenta una meteorización moderada con relleno Blando de material arcilloso y con presencia de agua, su RQD es de 75.4 % y un RMR medio de clase III. Resultados ver tabla 60.

Tabla 60: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 15

RESULTADOS	
Tramo 15	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55.063
RQD (%)	75.4
RMR Básico	49
RMR Corregido	39
RMR seco	57
Q de Barton	1.106
GSI	52
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	29.5

Fuente: El autor

En el ultimo tramo correspondiente al dieciséis presenta litología de andesita propilitica con relleno blando de material arcilloso oscuro y moderadamente alterado; con RQD de 75.4% y un RMR medio de clase III; según el índice q de Barton corresponde a un macizo malo. Ver tabla 61.

Tabla 61: Resumen de cálculo geomecánico del tramo 16

RESULTADOS	
Tramo 16	
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	55.063
RQD (%)	75.4

RMR Básico	49
RMR Corregido	39
RMR seco	57
Q de Barton	1.106
GSI	52
Cohesión del macizo rocoso (KPa)	200-300
Angulo de fricción (°)	29.5

Fuente: El autor

Posterior a la caracterización geomecánica del bloque de explotación se presenta la tabla 62 con el resumen de los resultados de las clasificaciones geomecánicas de cada uno de los tramos del bloque de explotación.

Tabla 62: Resumen de la clasificación geomecánica del bloque de explotación

TRAMO	BIENIAWSKI RMR		GSI		Índice Q de BARTON	
	Valor	Descripción/clase	Valor	Tipo de macizo	Valor	Calidad de macizo
1	52	Clase III Medio	62	Buena fracturada	5.63	Calidad medio
2	48	Clase III Medio	61	Buena fracturada	3.608	Calidad mala
3	44	Clase III Medio	54	Regular muy fracturado	2.115	Calidad mala
4	44	Clase III Medio	57	Buena fracturado	1.804	Calidad mala
5	45	Clase III Medio	55	Buena muy fracturado	1.877	Calidad mala
6	47	Clase III Medio	57	Buena fracturado	3.608	Calidad mala
7	58	Clase III Medio	58	Buena fracturado	1.949	Calidad mala
8	35	Clase IV Malo	46	Regular muy fracturado	0.229	Calidad muy mala
9	49	Clase III Medio	59	Buena fracturado	2.924	Calidad mala
10	46	Clase III Medio	59	Buena fracturado	2.706	Calidad mala
11	46	Clase III Medio	59	Buena fracturado	2.815	Calidad mala
12	46	Clase III Medio	59	Buena fracturado	2.924	Calidad mala
13	45	Clase III Medio	55	Buena muy fracturado	1.949	Calidad mala
14	42	Clase III Medio	55	Buena muy fracturado	2.706	Calidad mala
15	39	Clase IV Malo	52	Buena muy fracturado	1.106	Calidad mala
16	39	Clase IV Malo	52	Buena muy fracturado	1.106	Calidad mala

Fuente: El autor

Se puede observar que el macizo rocoso en la mayoría de los tramos corresponde a un índice RMR medio de clase III, excepto el tramo 8,15 y 16 en los cuales corresponde a un RMR malo con clase IV los cuales se encuentran afectados por fracturas subverticales que se encuentra con un relleno de arcilla y presenta alta humedad. En la siguiente grafica se puede evidenciar que predomina un macizo rocoso de clase media a excepción en el centro donde la gráfica baja

hacia un macizo rocoso de clase malo esto sucede con las tres clasificaciones geomecánicas analizadas las cuales son RMR, GSI y el índice Q de Barton. Ver figura 39.

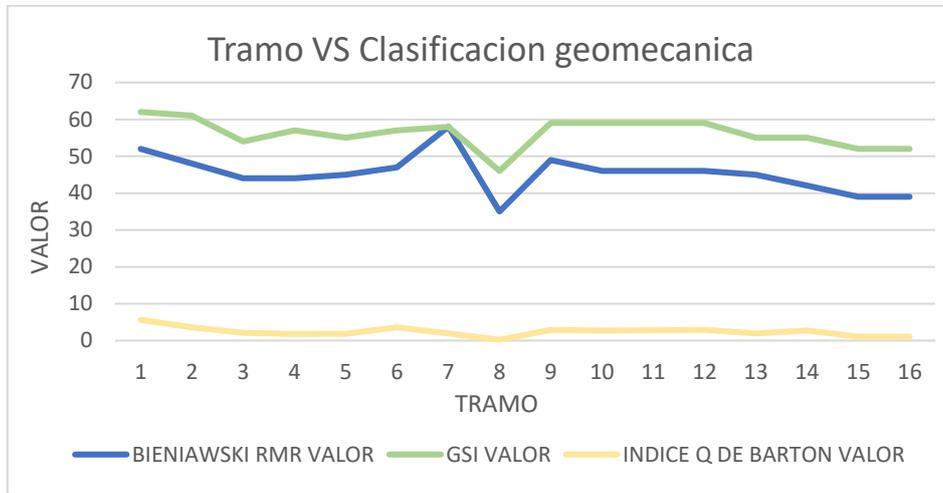


Figura 46: Comportamiento de macizo rocoso según las tres clasificaciones geomecánicas (RMR, GSI y Q de Barton)

Fuente: El autor

El mapa de la clasificación RMR se observa en la figura 48.

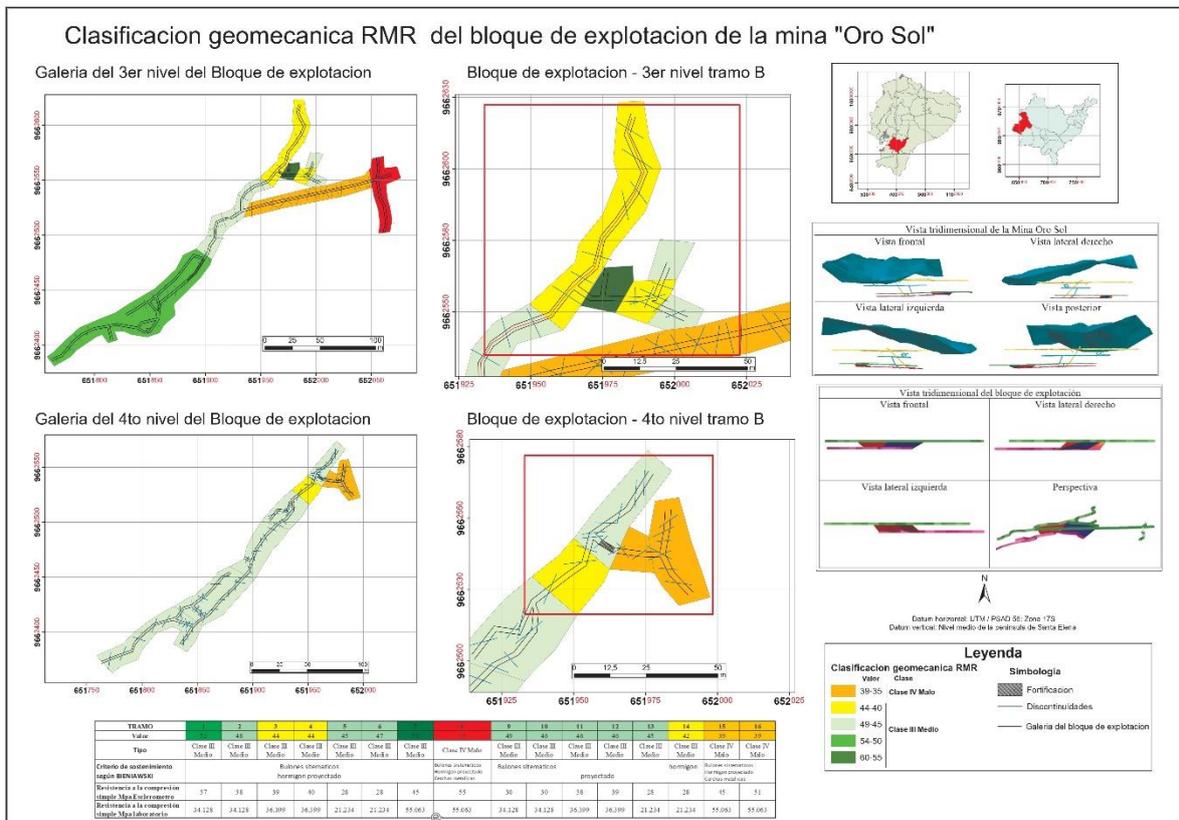


Figura 47: Mapa de clasificación geomecánica RMR

Fuente: el autor

6.5.3. Análisis cinemático

El análisis cinemático radica en analizar y evaluar la estabilidad de las cuñas que se forman con la presencia de las distintas familias de discontinuidades que cruzan el macizo rocoso en cada uno de los tramos analizados de la galería del bloque de explotación

6.5.3.1. Análisis de los tramos mediante estereogramas

Para la representación de cada estereograma se utilizaron los datos cada familia de discontinuidades presentes los datos que se utilizaron son: dirección de buzamiento, buzamiento de las discontinuidades, el ángulo de fricción (para identificar el cono de fricción) y también se graficó la dirección de la galería. Para el ángulo de fricción se calculo el anguli de fricción residual mediante datos obtenidos del esclerómetro los resultados se encuentran en la tabla 63.

Tabla 63: ángulos de fricción de los tramos caracterizados

Numero de Tramo	Angulo de fricción (ϕ)	Numero de Tramo	Angulo de fricción (ϕ)
1	35.6	9	34.5
2	34.2	10	33
3	31.9	11	33.6
4	32	12	33
5	32.5	13	32.5
6	33.5	14	31.2
7	34.6	15	31.5
8	29.5	16	31.5

Fuente: el autor

En el tramo 1 se identificaron 3 familias de discontinuidades en donde J2 y J3 tienen una orientación preferencial N-S y la J1 con una orientación NE-SW como se observa en la figura 48 a. En cambio, el tramo dos presenta 4 familias de discontinuidades donde J2 y J4 presentan una orientación preferencial a N-S, J3 una orientación NW-SE y J1 con orientación preferencial NE-SW como se analiza en la figura 48 b.

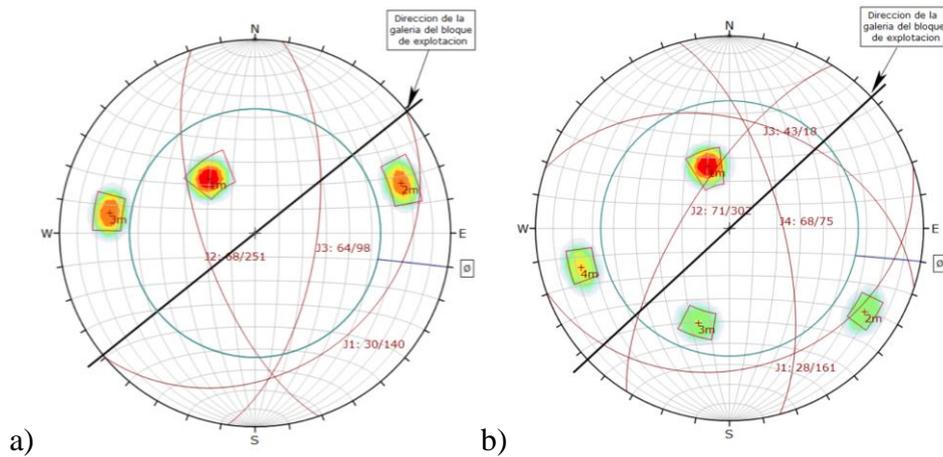


Figura 48: Estereograma del primer (a) y segundo tramo (b)

Fuente: El autor

En el tercer y cuarto tramo se observan 3 familias de discontinuidades en el tramo tres, figura 49 a), se observa el J2 y J3 una orientación NW-SE mientras que la J1 tiene una preferencia NE-SW. En el tramo cuatro J1 y J3 poseen una orientación preferencial N-S mientras J2 se orienta hacia NW-SE. Ver figura 49 b).

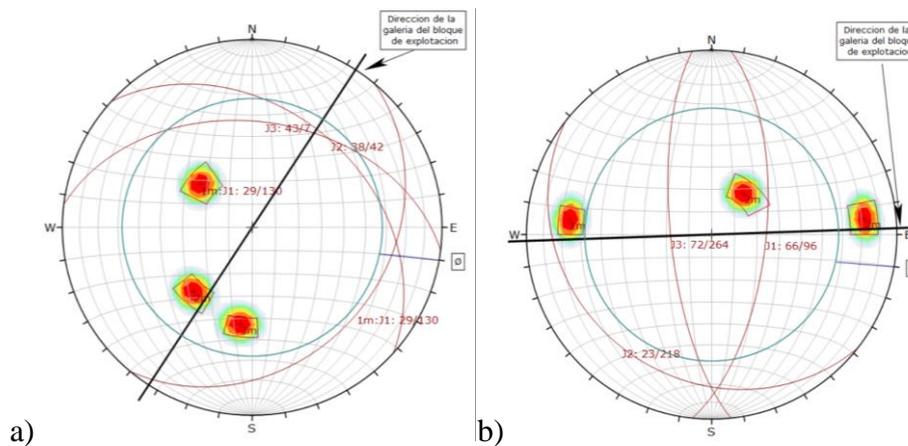


Figura 49: Estereograma del tercer (a) y cuarto tramo (b)

Fuente: El autor

En el quinto tramo como se observa en la figura 50 a), existe la presencia de cuatro familias de discontinuidades donde J1 y J4 presentan una orientación preferencial NE-SW en cambio J2 y J3 poseen una orientación preferencial de NW-SE. En el tramo seis presenta tres familias de discontinuidades como se observa en la figura 50 b), donde J1 tiene una orientación NW-SE, J2 N-S y J3 posee una orientación NE -SW.

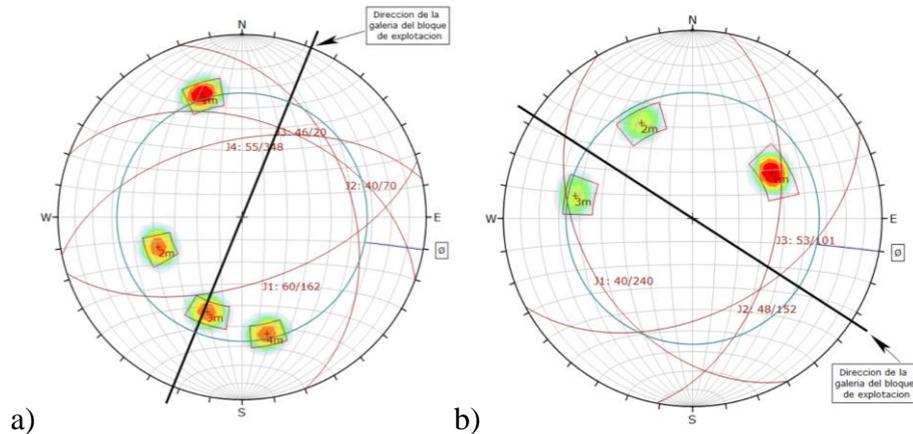


Figura 50: Estereograma del quinto (a) y sexto tramo (b)

Fuente: El autor

En el tramo siete se han encontrado 3 familias de discontinuidades don J1 tiene una orientación preferencial NE-SW, mientras que J2 y J3 una N-S como se observa en la figura 51 a). En el tramo ocho se ubican cuatro familias de discontinuidades en donde J1 y J4 poseen orientación preferencial de N-S en cambio J2 y J3 una orientación E-W tal como se analiza en la figura 51 b).

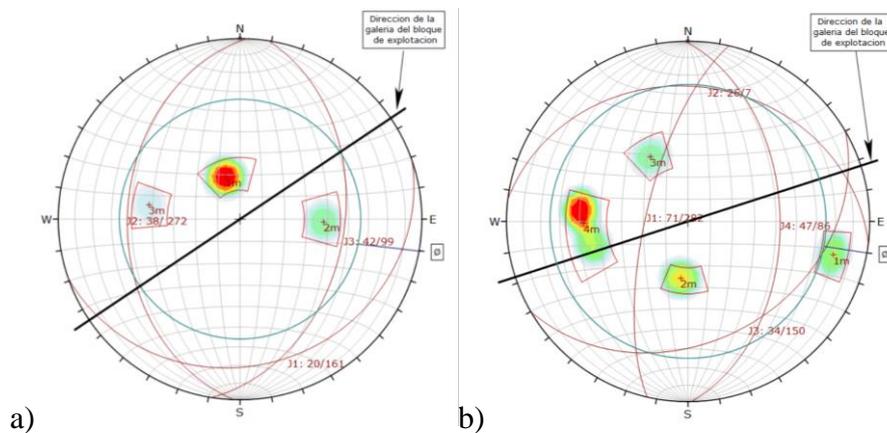


Figura 51: Estereograma del séptimo (a) y octavo tramo (b)

Fuente: El autor

El tramo 9 de la figura 52 a), presenta tres familias de discontinuidades J1 presenta una orientación preferencial NE-SW y J2 con J3 poseen orientación preferencial N-S. en el tramo diez también presenta tres familias de discontinuidades donde J1 presenta una orientación preferencial NE-SW, J2 una orientación preferencial N-S y J3 E-W como esta la figura 52 b).

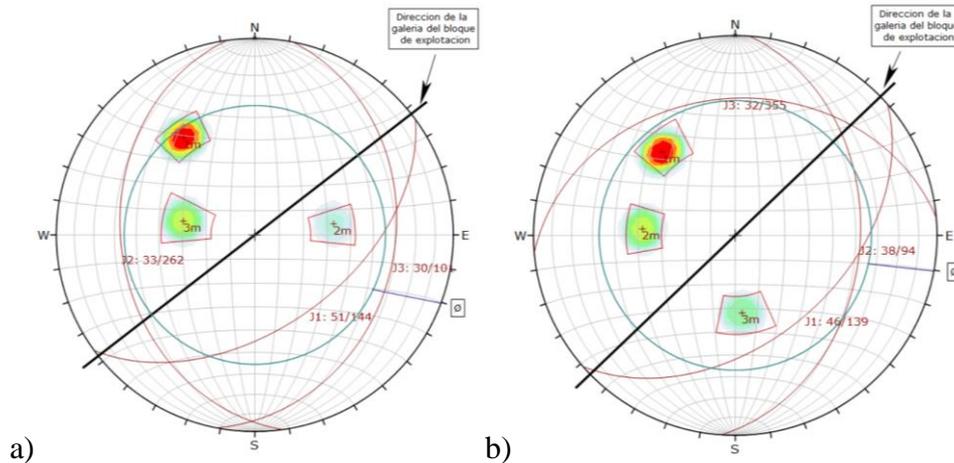


Figura 52: Estereograma del noveno (a) y decimo tramo (b)

Fuente: El autor

En el tramo once no se forman cuñas tetraédricas debido a que solo presenta la formación de dos familias de discontinuidades obsérvese en la figura 53 a). En el tramo doce existe la presencia de tres familias donde J1 posee una orientación NE -SW y J2 con J3 se orientan preferencialmente de NW-SE como se ve en la figura 53 b).

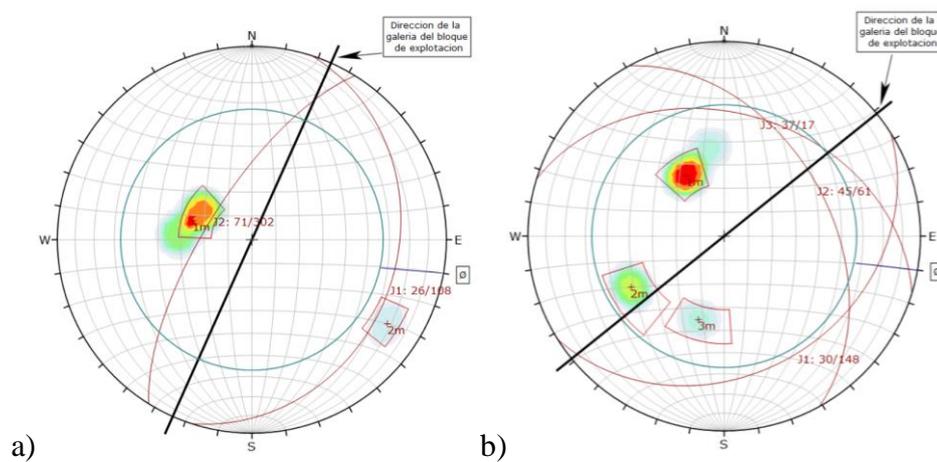


Figura 53: Estereograma del decimoprimer (a) y decimosegundo tramo (b)

Fuente: El autor

En el tramo tercer y catorce se han formado 3 familia de discontinuidades, en el tramo trece como se muestra en la figura 54 a), la J1 esta orientada NW-SE, la J2 E-W y la J3 NE-SW. El tramo catorce como esta en la figura 54 b), se analiza que J1 está orientado E-W y J2 con J3 tienen una orientación N-S.

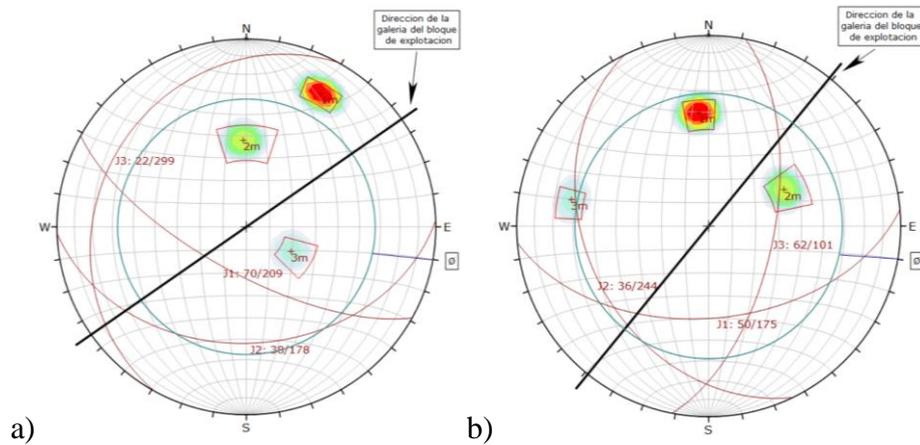


Figura 54: Estereograma del decimotercer (a) y decimocuarto tramo (b)
 Fuente: El autor

En el tramo quince se observa cuatro números de familia de discontinuidades como muestra la figura 55 a), donde J1y J4 presenta una orientación preferencial NW-SE, la J2 una orientación NE-SW y J3 una E-O. En el tramo dieciséis se ha encontrado 3 familias de discontinuidades donde J1 tiene una orientación preferencial de E-W, mientras que J2 y J3 están orientados de N-S como se demuestra en la figura 55 b)

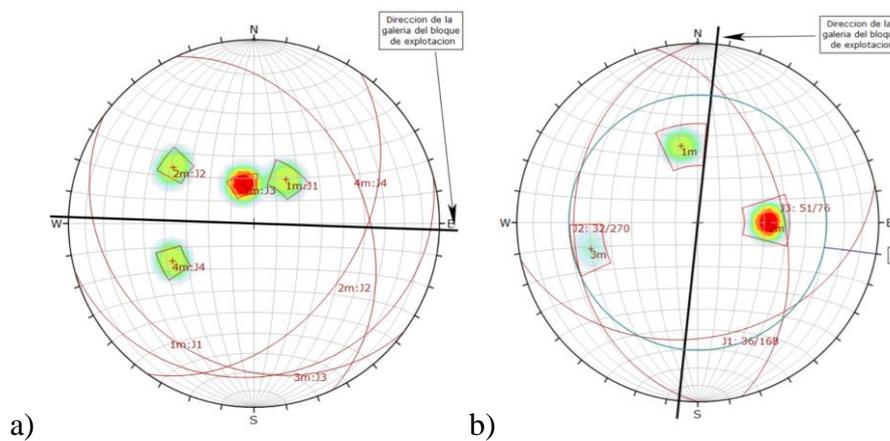


Figura 55: Estereograma del decimoquinto (a) y decimosexto tramo (b)
 Fuente: El autor

6.5.3.2. Análisis tridimensional mediante software Unwedge.

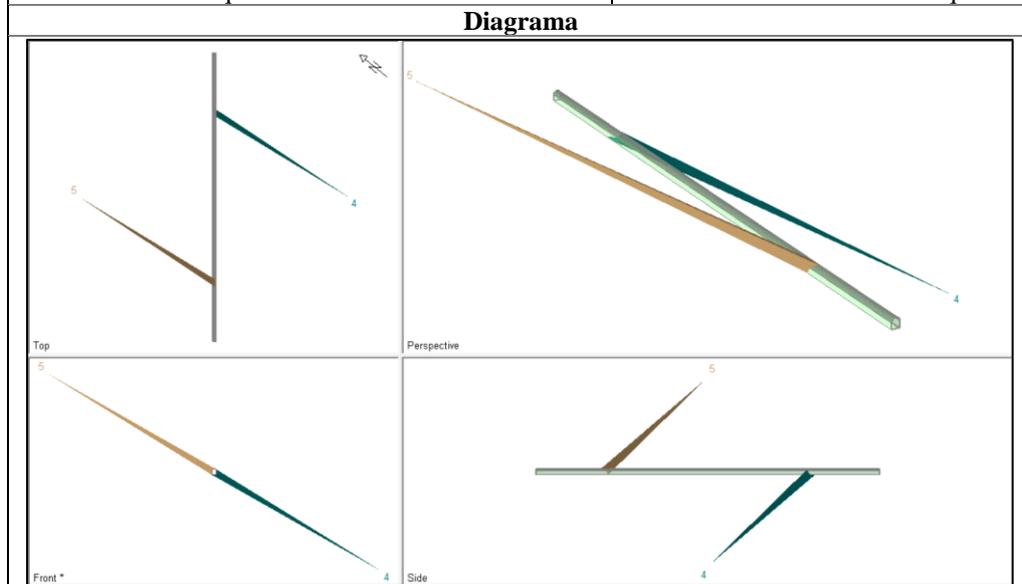
Mediante los estereogramas anteriormente analizados fue posible determinar la existencia de sistemas de discontinuidades dominantes que forman cuñas y con ayuda del software unwedge se analiza tridimensionalmente dichas cuñas, con la finalidad de brindar estabilidad a la galería del bloque de explotación se propone aplicar soportes en base a los tipos de

sostenimientos según GSI, sus características como: longitud, diámetro, factor de seguridad y otros detalles se detallan en el anexo 11.

En el análisis tridimensional del tramo 1 mediante el software se determinaron la formación de dos cuñas tetraédricas: una en la pared derecha que se extiende hasta parte del piso y la otra del techo hasta la pared izquierda, sin embargo, las dos se encuentran estables por lo que no requiere sostenimiento. En el cuadro 1 se detallan las características de dichas cuñas.

Cuadro 1: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 1

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
4	Pared derecha	131.88	354.77	Estable	No requiere
5	Pared izquierda	133.02	357.84	3.02	No requiere



Fuente: El autor

En el tramo 2 se han identificado la formación de 5 cuñas; una en el piso, una en la pared izquierda, una en la pared derecha y dos en el techo. Las características de cada cuña de detallan en el cuadro 2. De dichas cuñas cuatro no requieren sostenimiento dedicándole sostenimiento a la cuña 5 formada en la pared derecha su principal modo de fallamiento es por deslizamiento se plantea ubicar de forma puntual pernos cementados tipo helicoidal de 1 m. de longitud, 18 mm. de diámetro, con espaciado de 1 m. x 1 m. y traslapes de 0.30 m.

Cuadro 2: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 2

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	0.424	1.14	Estable	No requiere
4	Pared izquierda	0.38	1.03	1.27	No requiere
5	Pared derecha	0.44	1.17	0.75	6.764
6	Techo	0.003	0.008	0.23	No requiere por su tamaño
8	Techo	0.04	0.1	0.00	No requiere

Diagrama sin sostenimiento

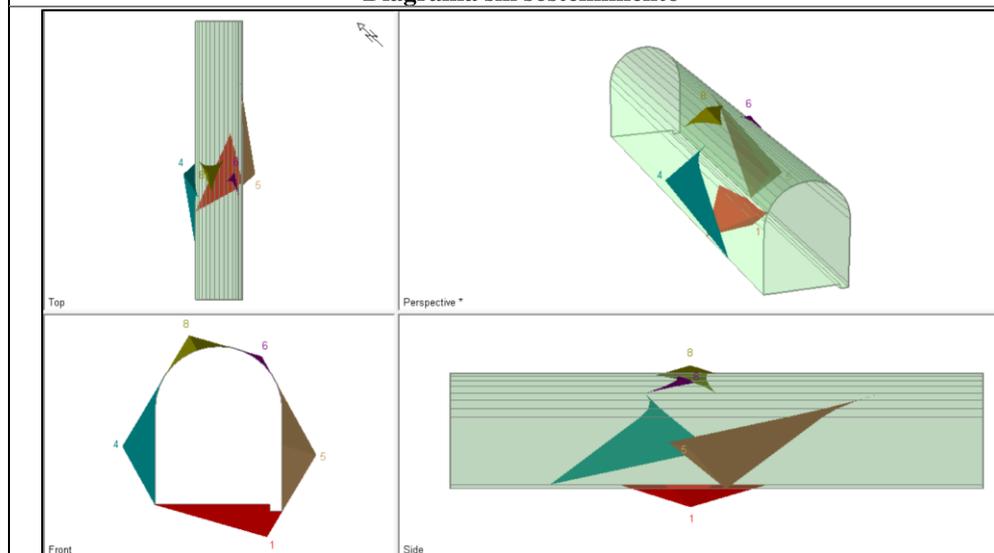
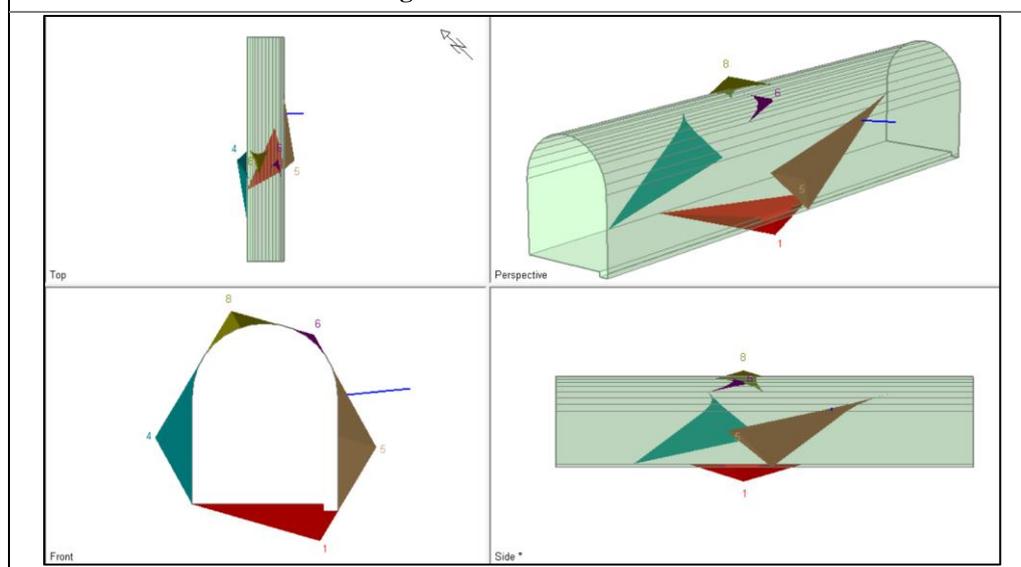


Diagrama con sostenimiento



Fuente: El autor

En tramo tres se encuentran 3 cuñas una en el piso y dos en el techo sus características se encuentran descritas en el cuadro 3.

De las tres cuñas formada la cuña 6 requiere sostenimiento y tiene un modo de fallamiento por deslizamiento, se plantea ubicar de forma puntual pernos cementados tipo helicoidal de 2m. de longitud, 20mm. de diámetro, con espaciado de 1 m. x 1 m. y traslapes de 0.30 m.

Cuadro 3: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 3

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
3	Piso	0.59	1.71	Estable	No requiere
6	Techo	0.35	1.00	0.8	3.834
7	Techo	0.002	0.006	0.67	No requiere por su tamaño

Diagrama sin sostenimiento

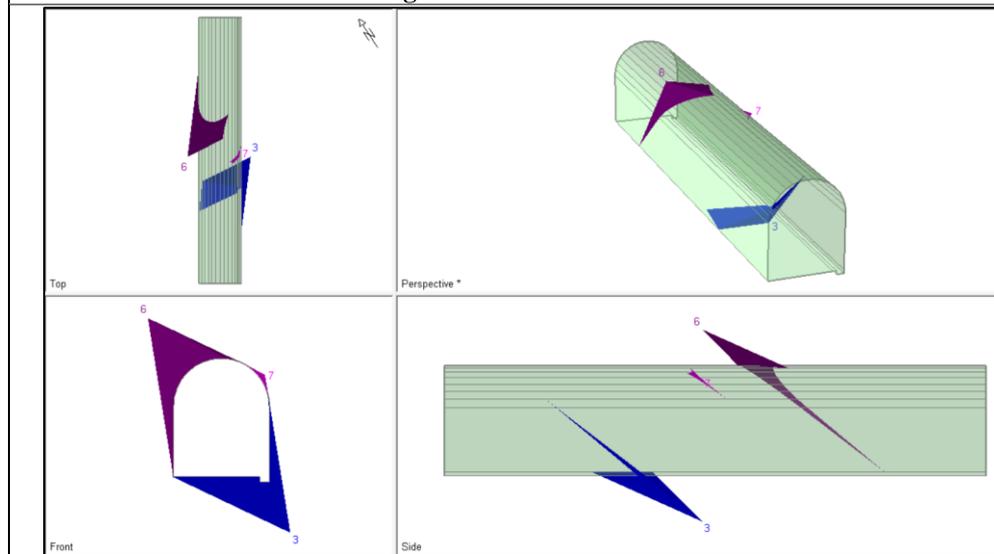
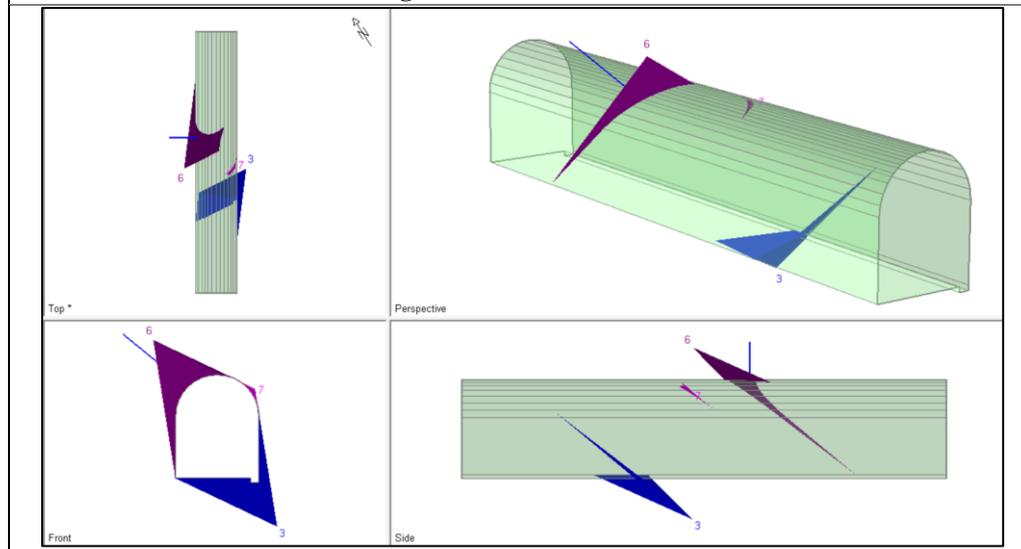


Diagrama con sostenimiento

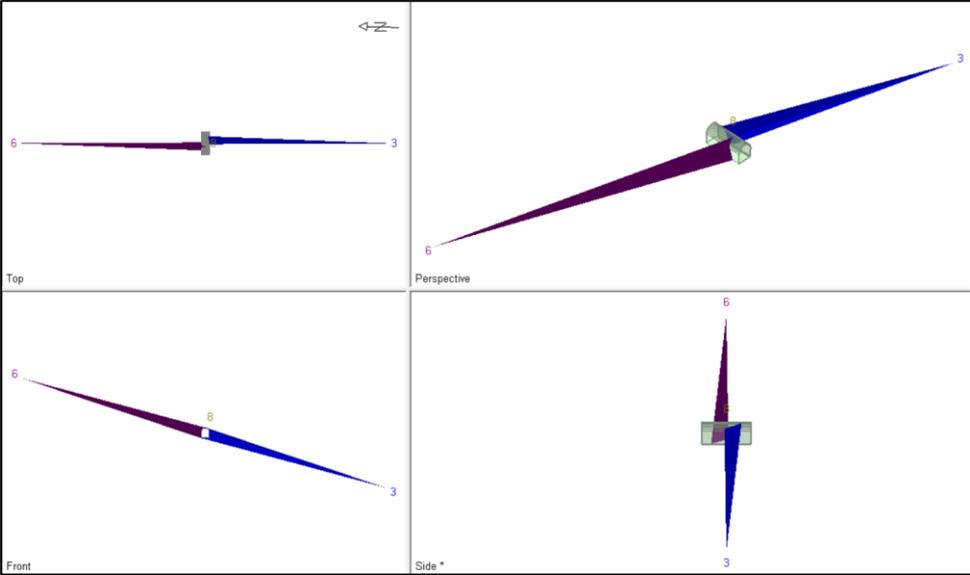


Fuente: El autor

El análisis del tramo cuatro en el software determina la formación de dos cuñas las cuales sus características se encuentran descritas en el cuadro 4. Las dos cuñas formadas se encuentran estables por lo que no requieren sostenimiento.

Cuadro 4: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 4

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
3	Piso y pared derecha	34.29	98.76	Estable	No requiere
6	Techo y pared izquierda	35.99	103.67	2.62	No requiere

Diagrama			
Top	Perspective	Front	Side *
			

Fuente: El autor

En el análisis del tramo cinco se han determinado tres cuñas una en la pared derecha, una en la pared izquierda y una en el techo. En el cuadro 5 se detallan sus características.

La cuña 6 se encuentra inestable su principal modo de fallamiento es por deslizamiento por lo que requiere sostenimiento puntual, se plantea ubicar de forma puntual pernos cementados tipo helicoidal de 2m. de longitud, 20mm. de diámetro, con espaciado de 1 m. x 1 m. y traslapes de 0.30 m.

Cuadro 5: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 5

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
3	Pared derecha	2.52	6.69	Estable	No requiere
6	Pared izquierda	3.21	8.5	0.759	5.609
7	Techo	0.00	0.00	0.615	No requiere por su tamaño

Diagrama sin sostenimiento					
-----------------------------------	--	--	--	--	--

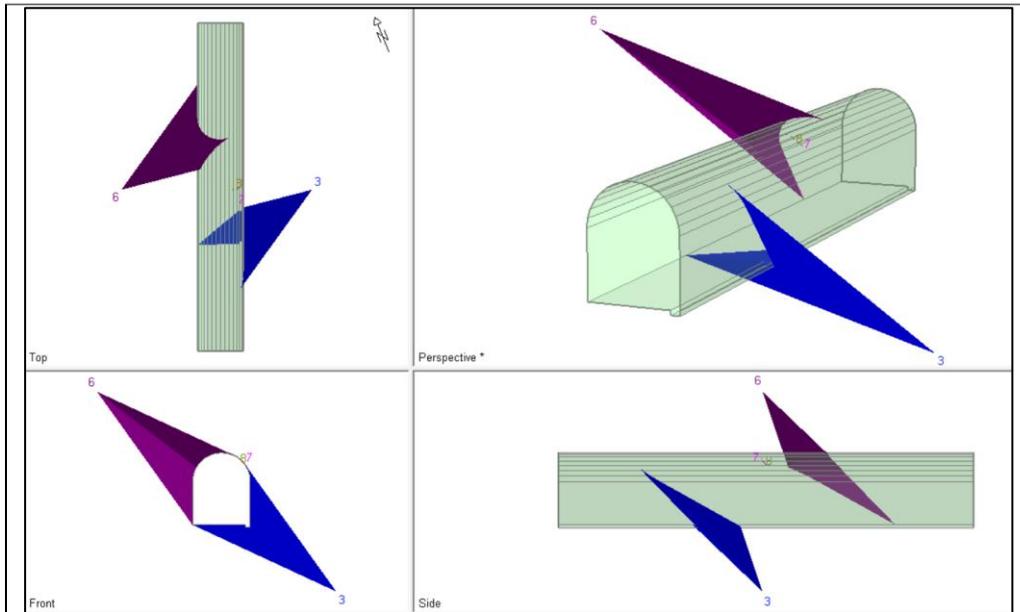
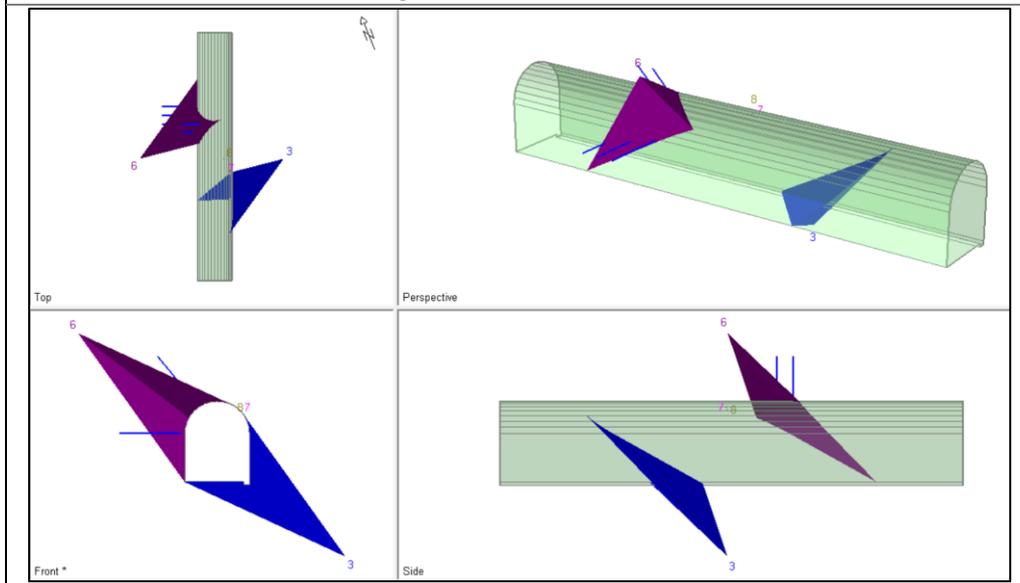


Diagrama con sostenimiento



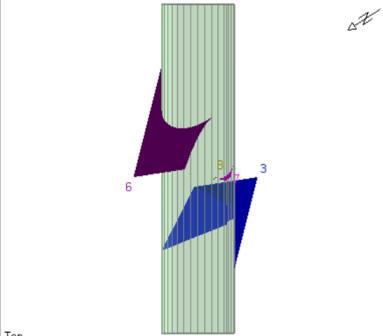
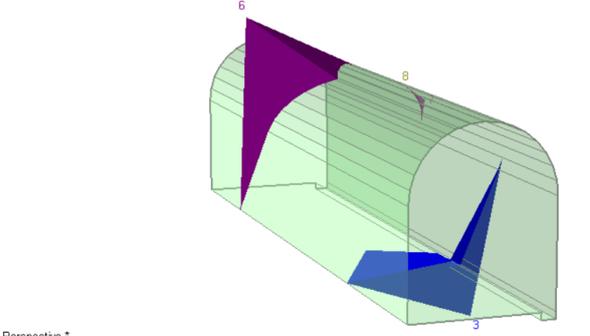
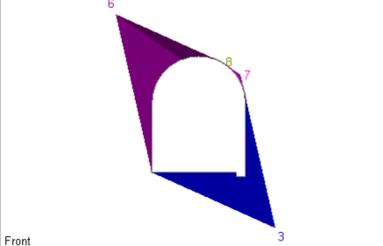
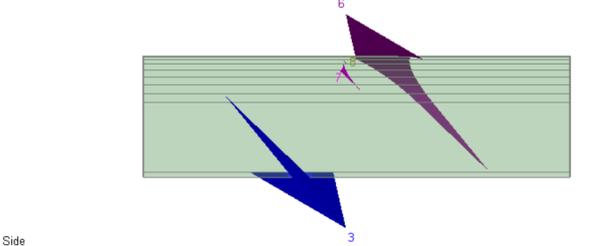
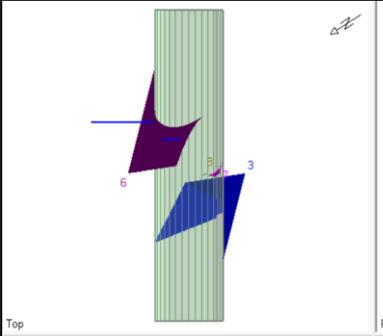
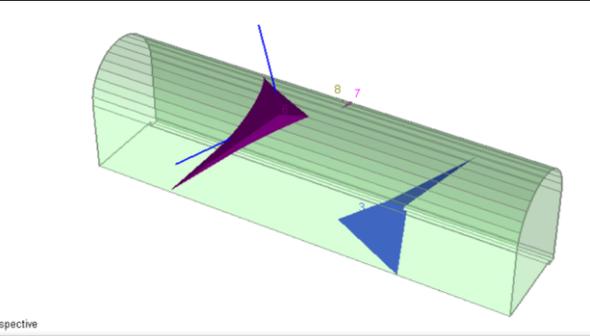
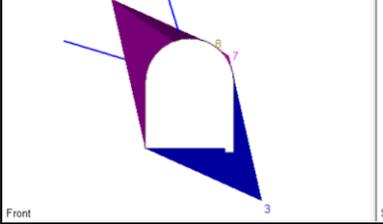
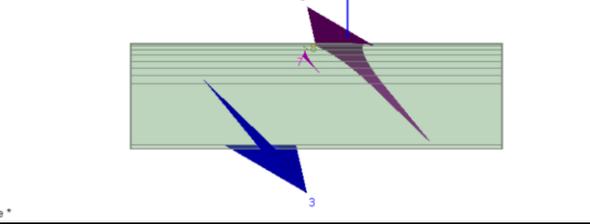
Fuente: El autor

El análisis de los datos del tramo seis muestra la formación de tres cuñas: una en el piso y dos en el techo.

La cuña 7 se encuentra inestable su modo de fallamiento es por caída libre debido a su diminuto tamaño y altura ápice se considera que durante la voladura se desprendió y con el adecuado desquinche es seguro; la cuña 6 se encuentra inestable y su principal modo de fallamiento es por deslizamiento por lo que requiere sostenimiento puntual, se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 2m. de longitud, 20mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1m. x 1m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 6: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 6

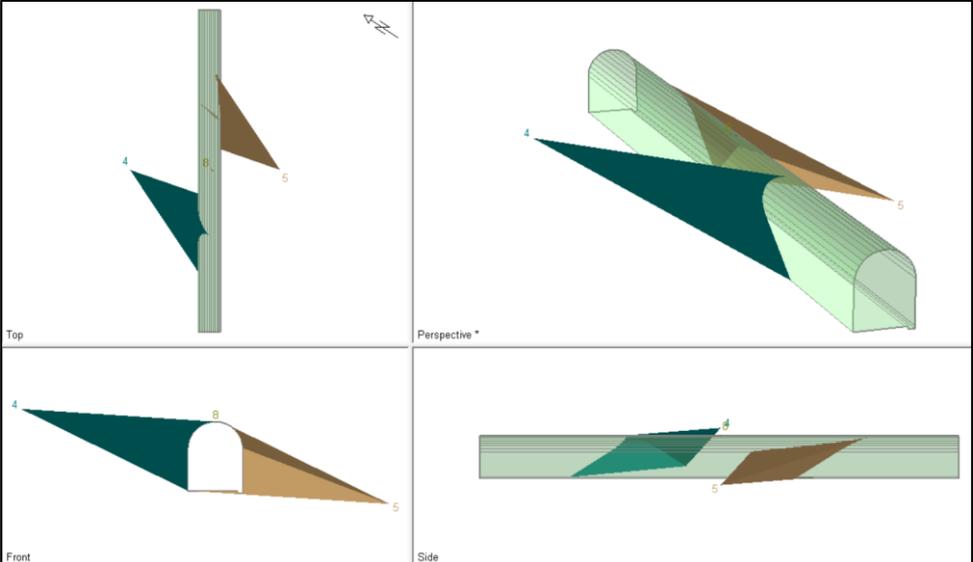
N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
3	Piso	0.69	1.84	Estable	No requiere
6	Techo y pared izq	0.56	1.51	0.6	8.274
7	Techo	0.001	0.002	0.5	No requiere por su tamaño

Diagrama sin sostenimiento			
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>	 <p>Front</p>	 <p>Side</p>
Diagrama con sostenimiento			
 <p>Top</p>	 <p>Perspective</p>	 <p>Front</p>	 <p>Side *</p>

Fuente: El autor

El análisis de los datos del tramo siete demuestra que se han formado dos cuñas: una en la pared izquierda y una en la pared derecha como se observa y describe en el cuadro 7. Las dos cuñas se encuentran estables por lo que no requiere sostenimiento.

Cuadro 7: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 7

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
4	Pared izquierda	15.41	41.63	2.00	No requiere
5	Pared derecha	10.38	27.72	Estable	No requiere
Diagrama					
					

Fuente: El autor

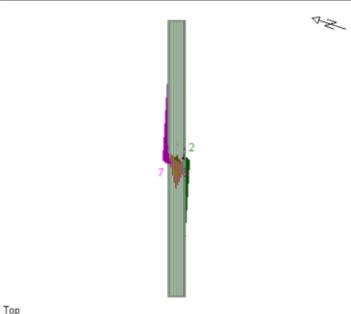
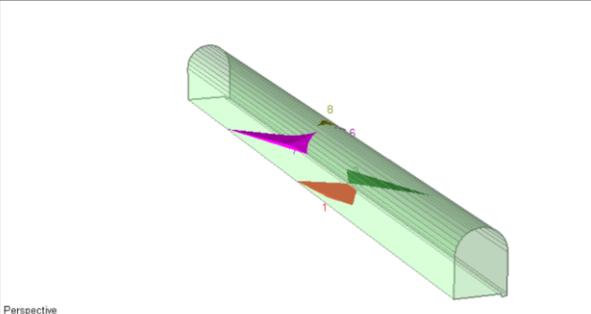
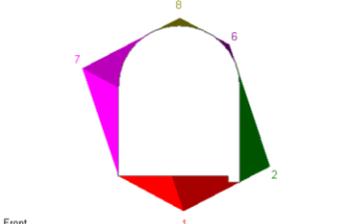
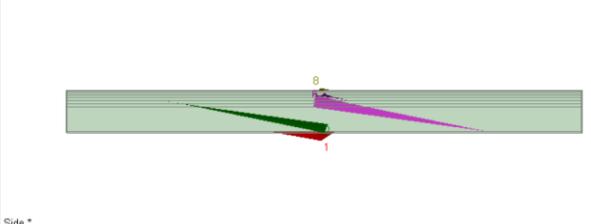
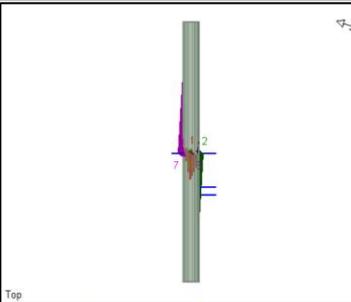
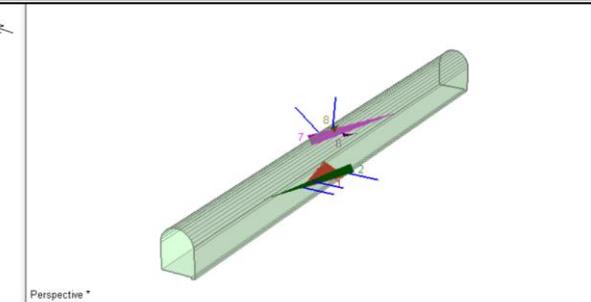
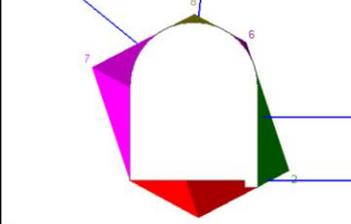
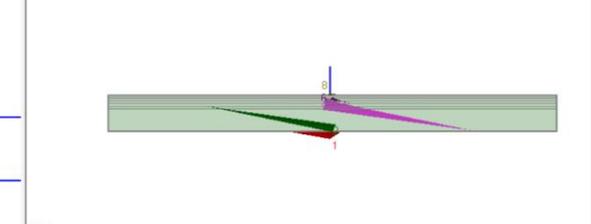
En el análisis del tramo ocho en el software demuestra que se han formado cinco cuñas: dos en el techo, una en el piso una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Como se detalla en el cuadro 8.

En esta zona se han formado dos cuñas de pequeño volumen en el techo y su principal modo de fallamiento es por caída libre por lo que se recomienda un buen desquinche. Las cuñas formadas en ambas paredes presentan inestabilidad por lo que se recomienda un sostenimiento.

Este tramo corresponde a un macizo rocoso malo según sus condiciones geomecánicas por lo que se recomienda un sostenimiento por cuadros de madera o el de pernos cementados de tipo helicoidal. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 2m. de longitud, 22mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1m. x 1m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 8: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 8

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	0.76	2.02	Estable	No requiere
2	Pared derecha	0.40	1.08	0.976	61.751
6	Techo	0.003	0.008	0.956	No requiere por su tamaño
7	Pared izquierda	0.74	1.98	0.691	8.984

8	techo	0.01	0.02	0.00	No requiere por su tamaño
Diagrama sin sostenimiento					
 Top		 Perspective			
 Front		 Side *			
Diagrama sin sostenimiento					
 Top		 Perspective *			
 Front		 Side			

Fuente: El autor

Con el análisis de los datos del tramo 9 se ha identificado la formación de cuatro cuñas: dos en el techo, una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Sus características se detallan en el cuadro 9.

La cuña 8 ubicada en el piso posee un modo de fallamiento por caída libre y debido a su pequeño volumen se recomienda solo un buen desquinche. Mientras que la cuña 4 presenta inestabilidad por lo que se recomienda sostenimiento. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 2m. de longitud, 22mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1.2m. x 1.2m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 9: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 9

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
4	Techo y pared der	10.47	28.16	0.557	3.345
5	Piso y pared izq	5.43	14.62	Estable	No requiere
6	Pared derecha	0.00	0.00	1.058	No requiere
8	techo	0.003	0.009	0.00	No requiere por su tamaño

Diagrama sin sostenimiento

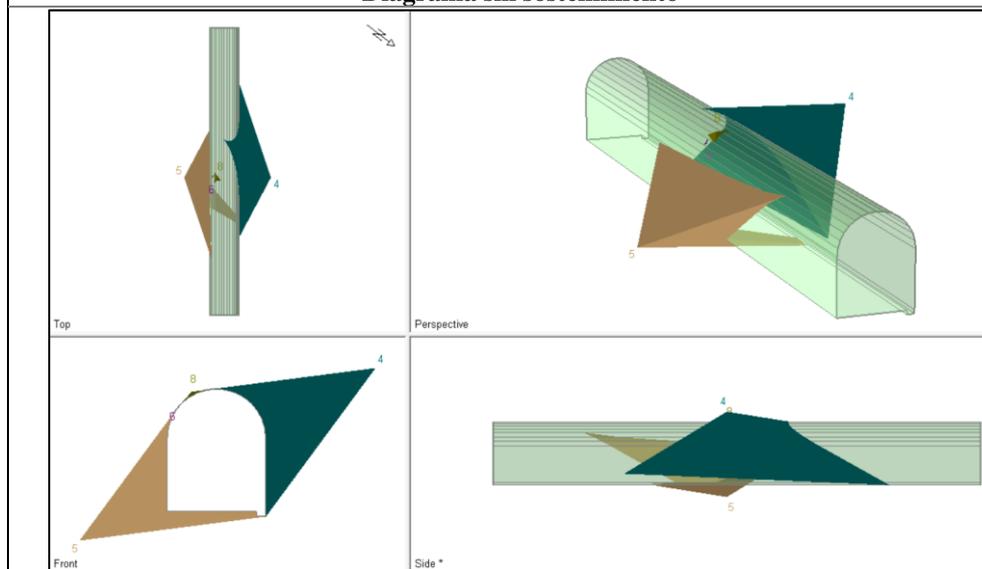
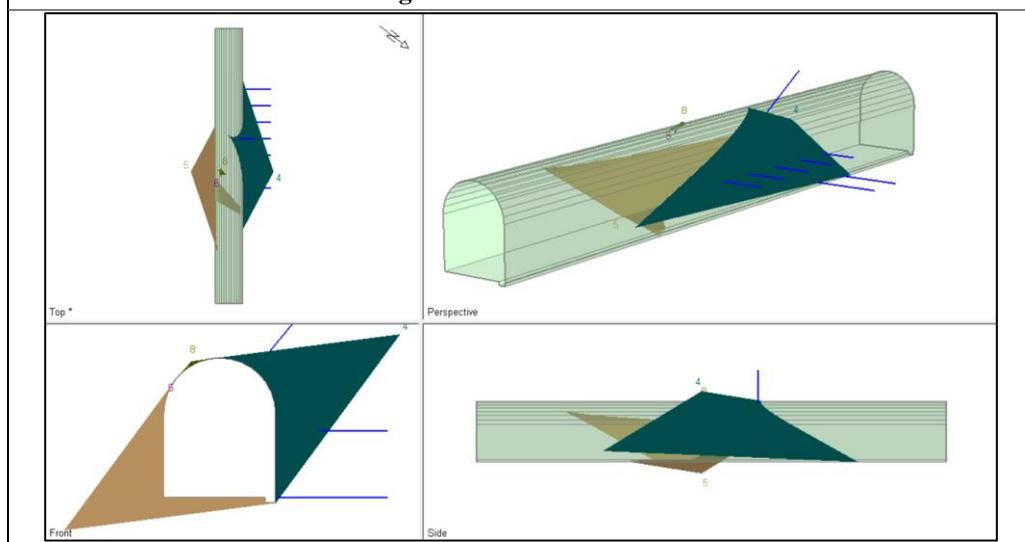


Diagrama con sostenimiento



Fuente: El autor

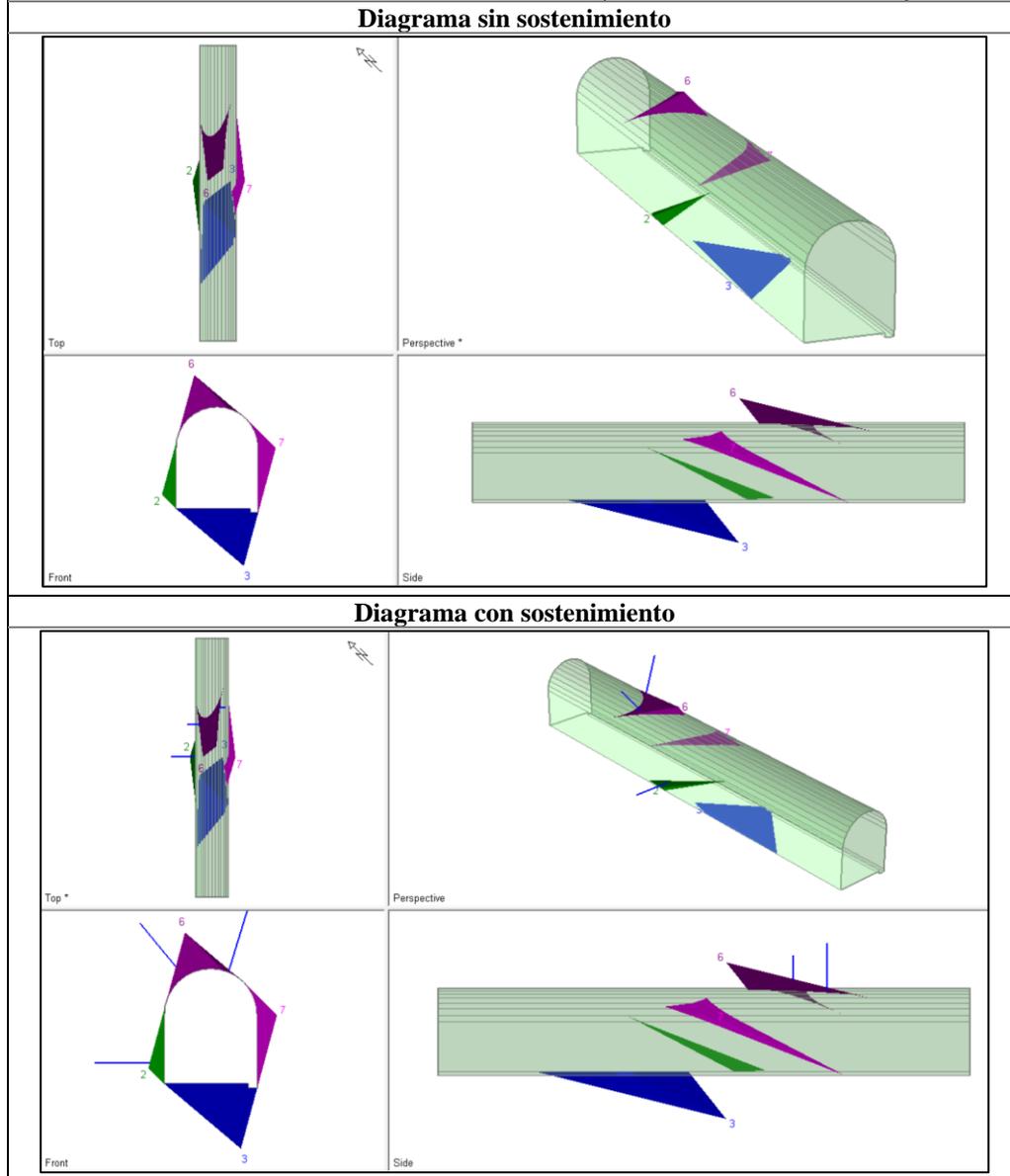
En el análisis de los datos del tramo 10 se han determinado la formación de cuatro cuñas: una en la pared derecha, una en la pared izquierda, una en el techo y una en el piso. Sus características se describen en el cuadro 10.

Las cuñas 2 y 6 presentan inestabilidad por lo que requieren sostenimiento, la cuña 2 presenta un modo de fallamiento por deslizamiento y la cuña 6 presenta un modo de fallamiento por caída libre. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 1.5m. de

longitud, 18mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1.2m. x 1.2m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 10: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 10

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
2	Pared izquierda	0.09	0.24	0.84	58.127
3	Piso	1.98	5.34	Estable	No requiere
6	Techo	0.41	1.09	0.83	13.246
7	Pared derecha	0.2	0.53	1.039	No requiere



Fuente: El autor

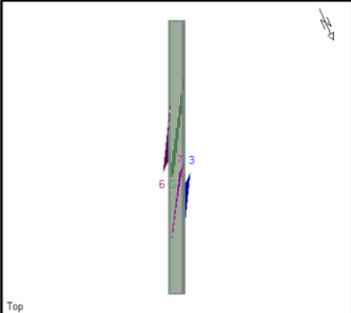
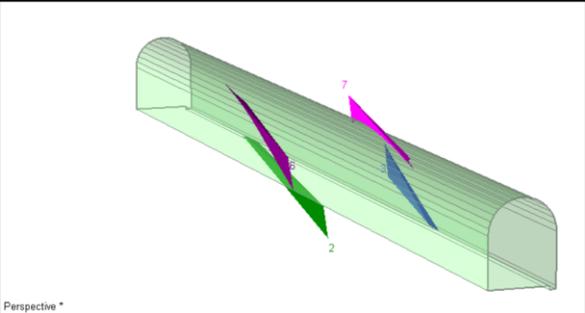
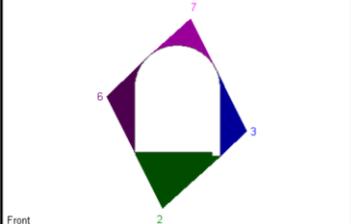
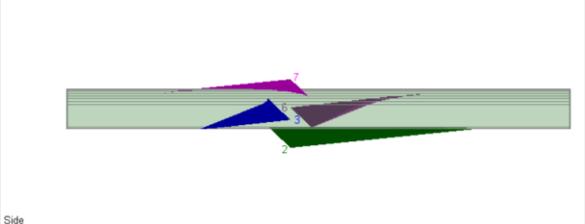
En el tramo 11 no se han formado cuñas tetraédricas debido a que solo presenta dos familias de discontinuidades en el cual corresponde a un macizo de calidad media sin presencia de fallamientos significativos.

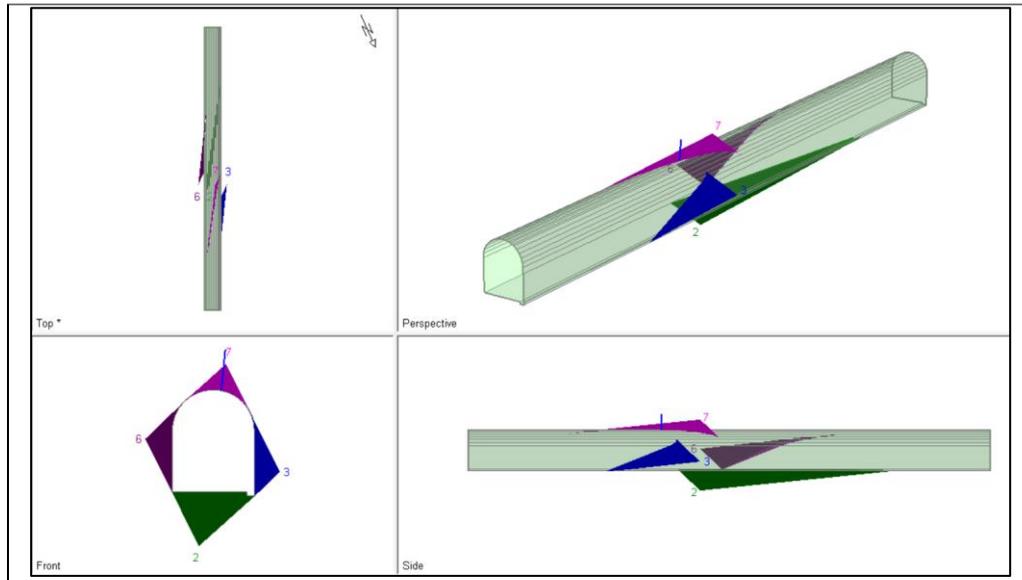
Con el análisis de los datos del tramo 12 en el software se han identificados cuatro cuñas: una en la pared derecha, una en la pared izquierda, una en el techo y una en el piso. Sus características se describen en el cuadro 12.

De las cuatro cuñas identificada la cuña 7 ubicada en el techo se encuentra inestable y presenta un modo de fallamiento preferencial por caída libre por lo que se recomienda un sostenimiento. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 1m. de longitud, 16mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1.2m. x 1.2m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 11: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 12

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
2	Piso	0.71	2.05	Estable	No requiere
3	Pared derecha	0.13	0.38	8.242	No requiere
6	Pared izquierda	0.16	0.48	56.944	No requiere
7	Techo	0.09	0.28	0.211	32.405

Diagrama sin sostenimiento	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>
Diagrama con sostenimiento	



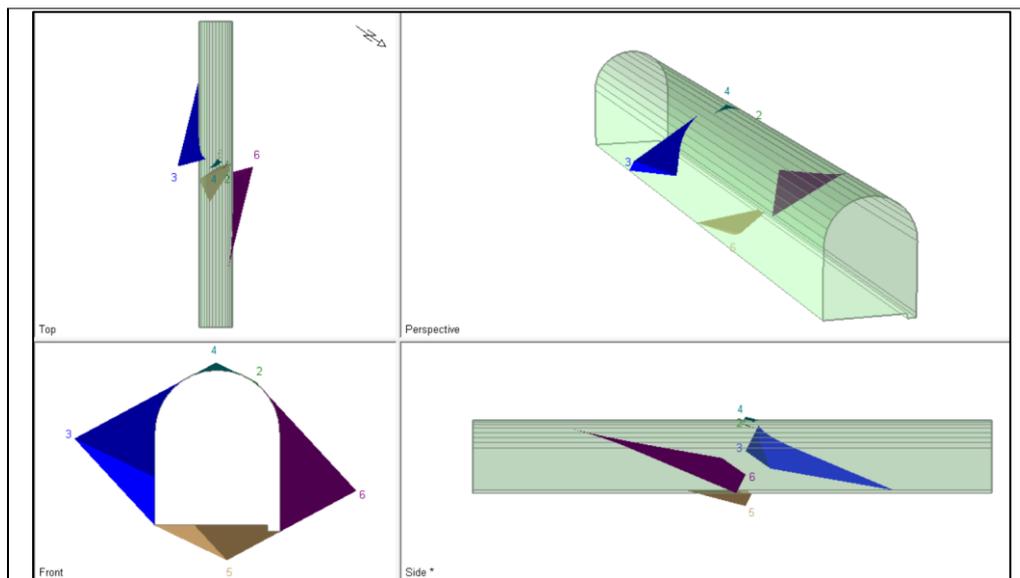
Fuente: El autor

Con el análisis de los datos del tramo trece en el software se determinaron cinco cuñas: dos en el techo, una en el piso, una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Sus características se describen en el cuadro 13.

Las cuñas inestables son la 2 y la 4 las cuales se descartan de sostenimiento por su modo de fallamiento por caída libre y su minúsculo tamaño, por lo que un adecuado desquinche bastaría para asegurar el peligro de estas cuñas.

Cuadro 12: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 13

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
2	Techo	0.00	0.00	0.815	No requiere
3	Pared izquierda	1.15	3.07	1.65	No requiere
4	Techo	0.004	0.01	0.232	No requiere
5	Piso	0.32	0.86	estable	No requiere
6	Pared derecha	0.98	0.98	2.616	No requiere
Diagrama					



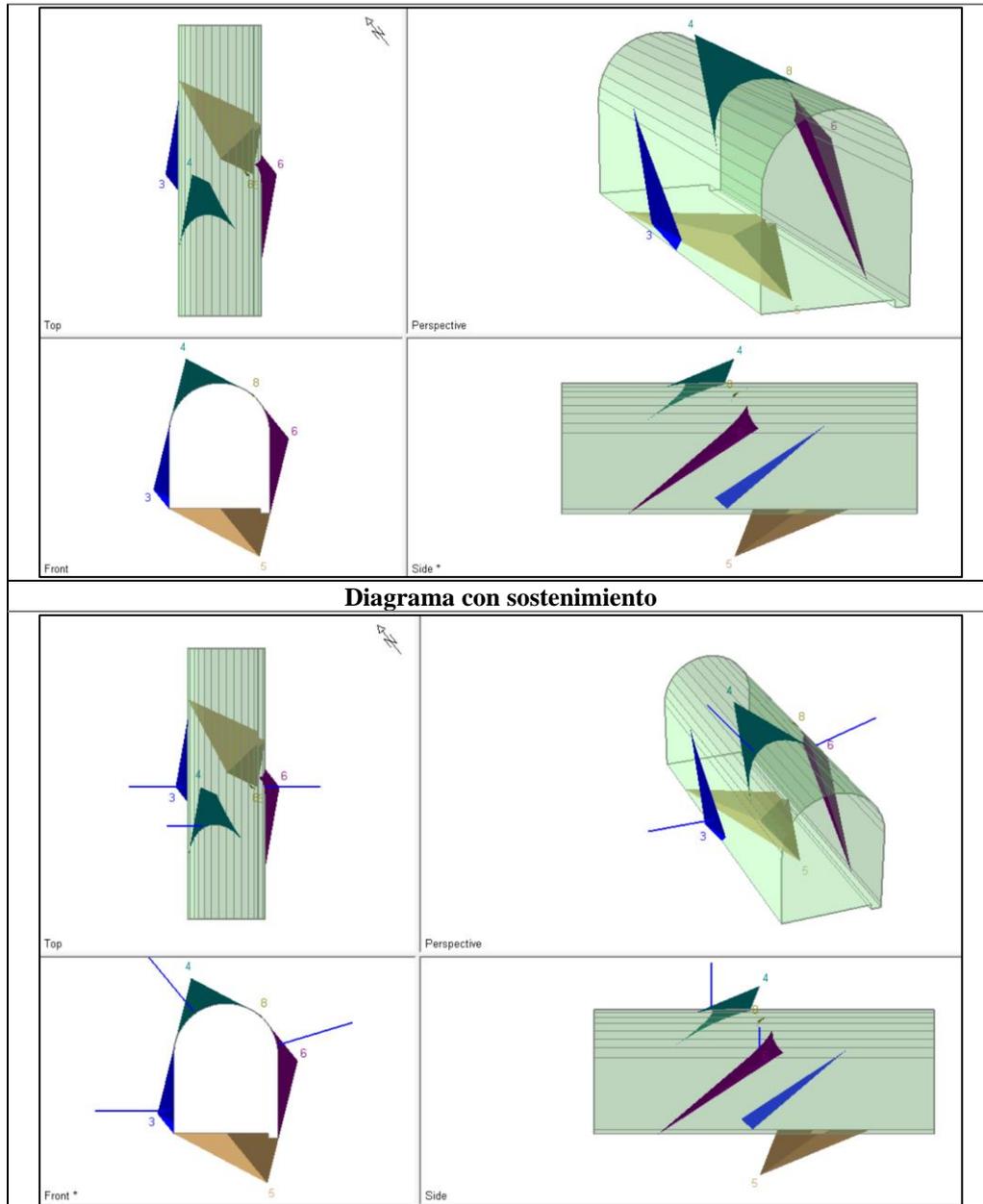
Fuente: El autor

En el análisis de los datos del tramo catorce se determinó la formación de cuatro cuñas: una en el techo, una en el piso, una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Sus características se observan en el cuadro 14.

Las cuñas 3, 4 y 6 necesitan sostenimiento puntual debido a su inestabilidad para lo cual se recomiendan pernos cementados de tipo helicoidal, las cuñas 3 y 6 tienen modo de fallamiento por deslizamientos y la cuña 4 modo de fallamiento por caída libre. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 1m. de longitud, 16mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1.2m. x 1.2m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 13: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 14

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
3	Pared izquierda	0.04	0.1	0.603	85.566
4	Techo	0.09	0.23	0.504	42.032
5	Piso	0.46	1.22	Estable	No requiere
6	Pared derecha	0.07	0.19	0.827	22.56
Diagrama sin sostenimiento					



Fuente: El autor

En el análisis de los datos del tramo quince se formaron cuatro cuñas: una en el piso, una en el trecho, una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Sus características se describen en el cuadro 15.

Las cuñas 2 y 3 se encuentran estables, la cuña 6 y 7 necesitan sostenimiento, la cuña 7 tiene modo de fallamiento por caída libre mientras que la 6 fallamiento por deslizamiento. Este tramo corresponde a un macizo rocoso de calidad mala según sus condiciones geomecánicas por lo que se recomienda un sostenimiento. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 1m. de longitud, 16mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1m. x 1m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 14: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 15

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
2	Piso	0.44	1.18	Estable	No requiere
3	Pared izquierda	0.06	0.18	1.64	No requiere
6	Pared derecha	0.27	0.74	0.724	12.797
7	techo	0.06	0.17	0.586	80.867

Diagrama sin sostenimiento

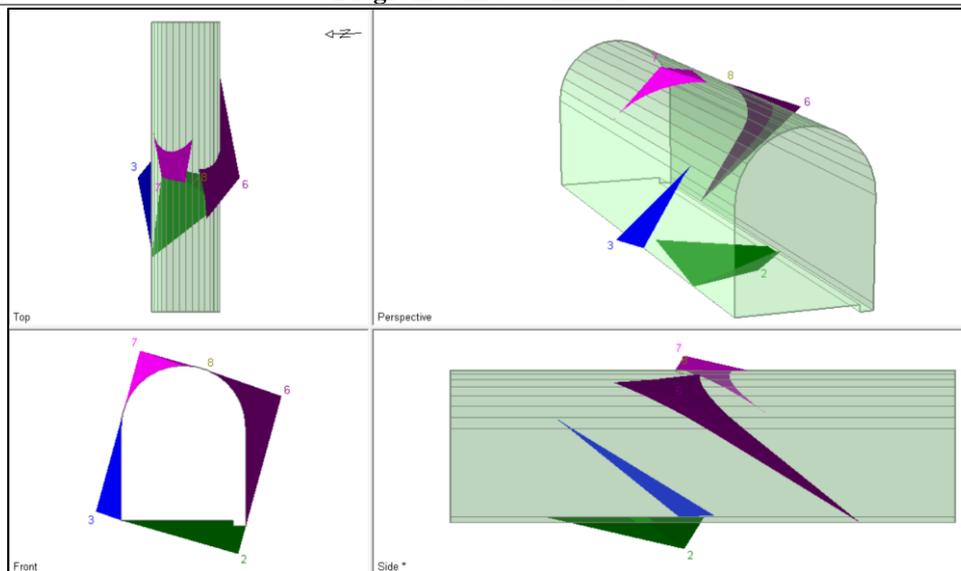
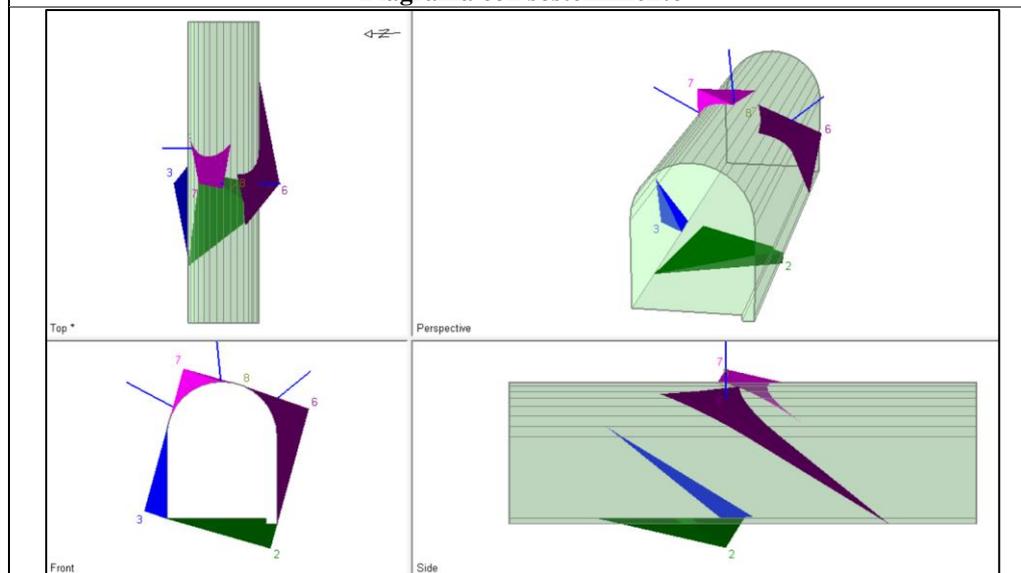


Diagrama con sostenimiento



Fuente: El autor

Con el análisis de los datos del tramo diez y seis se han determinado la formación de cinco cuñas: dos en el techo una en el piso, una en la pared derecha y una en la pared izquierda. Sus características se encuentran en el cuadro 16. De las cuales las cuñas 1 no requieren sostenimiento, la cuña 4 y 8 de acuerdo a su tamaño basta con un adecuado desquinche; la cuña 6 tiene un modo de fallamiento por deslizamiento y la cuña 3 se encuentra estable, pero para mayor seguridad se sugiere sostenimiento debido a su gran tamaño.

Este tramo corresponde a un macizo rocoso de calidad mala según sus condiciones geomecánicas por lo que se recomienda sostenimiento. Se sugiere la aplicación de pernos cementados de tipo helicoidal de 2m. de longitud, 20mm de diámetro, colocados de forma puntual, con espaciado de 1m. x 1m. y con traslapes de 0.30 m.

Cuadro 15: Características de las cuñas tetraédricas formadas en el Tramo 16

N° de cuña	Zona afectada	Volumen (m ³)	Peso (T)	Factor de seguridad	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	1.01	2.71	Estable	No requiere
3	Pared izquierda	2.76	7.37	1.039	No requiere/ 16.715
4	Techo	0.0001	0.00	0.779	No requiere por su tamaño
6	Pared derecha	2.947	7.86	0.905	16.328
8	techo	0.01	0.046	0.00	No requiere

Diagrama sin sostenimiento

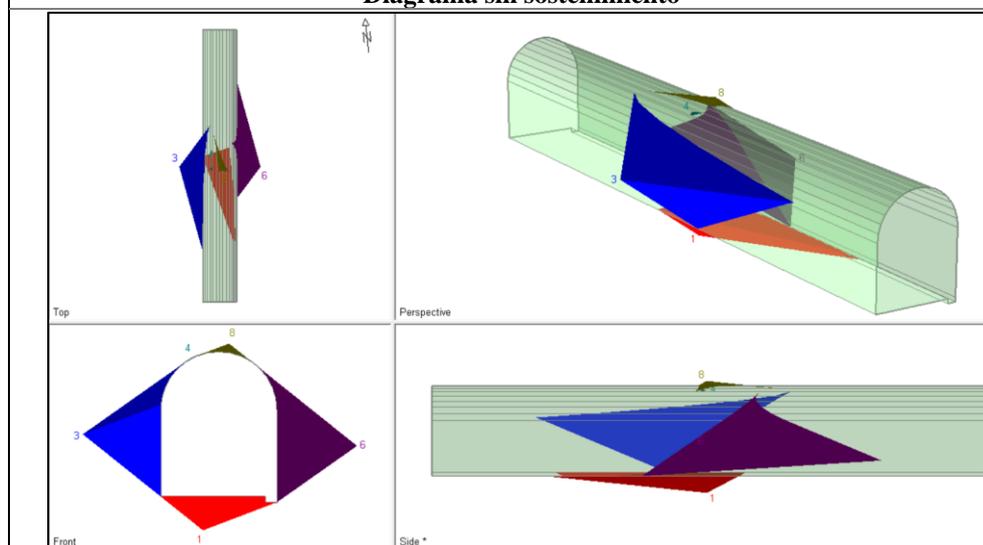
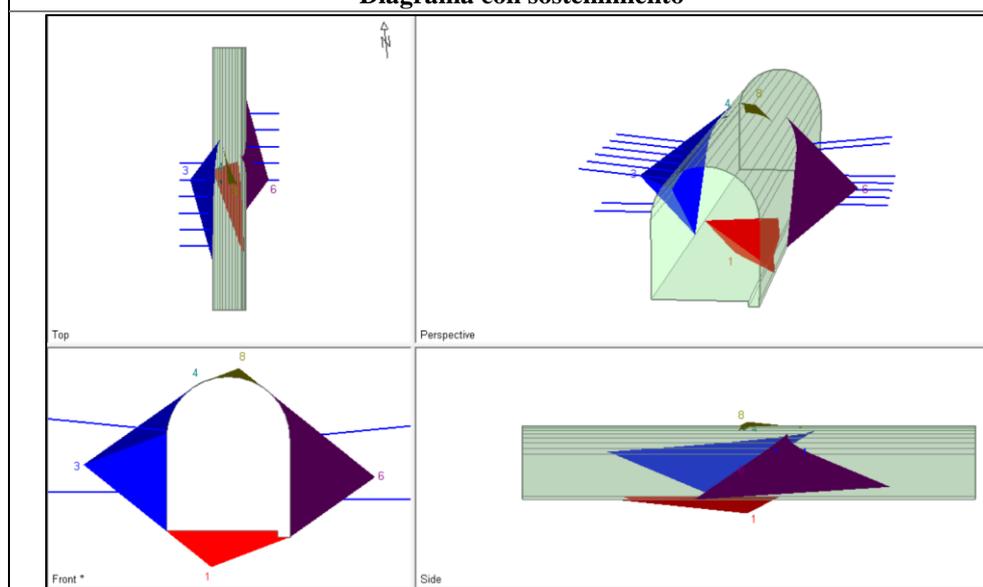


Diagrama con sostenimiento



Fuente: El autor



7. Discusión

En la zona de estudio referente a el sector San Gerardo se han desarrollado actividad minera correspondiente a minería artesanal o pequeña minería, existiendo estudios preliminares sin llevar a cabo estudios detallados de las condiciones geológicas, estructurales y/o geomecánicas, por tal razón los resultados obtenidos en este trabajo se pueden discutir principalmente con la geología que se menciona en otros estudios y en la parte geomecánica no se han encontrado trabajos detallados cercanos al sector de San Gerardo pero si algunos relacionados al distrito minero Ponce Enríquez.

En cuanto a la geología regional se ha podido corroborar lo que se menciona en la geología regional del Reporte N° 3 presentado por McCourt, W., Duque, P. & Pilatasig, L., en la obra *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1°00' and 2°00'S*, ya que en campo se coincido con la existencia de rocas volcánicas intermedias a acidas y en su composición litológica se observó la existencia de andesita de tonalidades verdosas a oscuras, cuando se encuentra fresca y cuando se encuentra en estado de alteración con tonalidades café amarillento, éstas litologías pertenecen al grupo Saraguro , definida por McCourt et al., 1977 que en este grupo predominan composiciones andesíticas a dacíticas.

Además, en la obra *Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador. Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones de la cordillera Occidental y Real, Volumen 4, del proyecto de desarrollo minero y control ambiental (PRODEMINCA) del año 2000*, la cordillera occidental; el distrito San Gerardo se encuentra parte de la Unidad Pallatanga y la parte baja del Grupo Saraguro esto se corrobora por la presencia de Stocks subvolcánicos y andesita porfirítica son comunes dentro del Grupo Saraguro y las formaciones más jóvenes; dichas rocas se encuentran en la parte central de la mina ORO SOL.

Así mismo se menciona que dichos depósitos comprenden fases intrusivas múltiples (diorítica/andesítica a tonalíticas /dacíticas) texturalmente diversas, lo cual también se corrobora en el campo por la formación de los cristales y cierta diferencia en el tamaño de estos dándole a las rocas una textura porfídica observados en las muestras de mano analizadas.

En lo estructural la dirección preferencial de la veta encontrada en la mina ORO SOL tiene una dirección preferencial NW-SE, también encontrándose una veta perpendicular con dirección NW-SE, esto se corrobora y se está de acuerdo con el (Instituto Geografico Militar, 2017) el cual expresa que la zona de estudio se ubica en sistemas NE-SW y las principales



estructuras de este sistema son las fallas Bulubulu, La Tigrera, San Gerardo y una serie de fallas locales segmentadas que llegan a formar cola de caballo.

En la parte mineralogía se ha corroborado su principal mineralización económica es el oro libre, oro asociado con sulfuros, los sulfuros principales son pirita, esfalerita, galena y calcopirita como se evidencio en el campo y se puede observar en la figura 36 y 37

En la parte geomecánica se han encontrado pocas publicaciones de estudios de esta índole por lo que se han considerado principalmente los trabajos presentados por José Cuervas en su publicación de “Estudio geológico-estructural y análisis geomecánica en la mina San Juan; Distrito minero Ponce Enríquez, provincia Azuay, Ecuador” y Walter Sarango en su trabajo “levantamiento geológico estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la compañía MINERVILLA CIA LTDA. Ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay” en los cuales expresan que la zona se encuentra en una litología competente encontrándose macizos de calidad media y buena. En el trabajo de campo se pudo apreciar que la mayor parte de la galería de mina “ORO SOL” se encuentra con características geomecánicas entre media y buena.

Según Walter Sarango 2017 propone las ecuaciones para calcular la longitud de los pernos de anclaje planteada por Barton 1980 que se indica en la obra Introducción a la ingeniería de túneles Gavilanes H. y Andrade B. 2004, con la cual se está de acuerdo ya que se utilizo las mismas formulas para el desarrollo de este trabajo, esto debdo a que se adapta a las condiciones del bloque de explotación y garantiza la estabilidad de las galerías del bloque de explotación, además también se lo considera por sus que toma en cuenta las variables de capacidad de sostenimiento vs longitud del perno.



8. Conclusiones

El contrato minero “ORO SOL” se encuentra constituido por 24.01 Ha el cual se encuentra entre las cotas 1601 a 1695 m.s.n.m con un relieve irregular muy pronunciado, según el análisis del mapa de pendientes el 51% del área corresponde a pendientes muy inclinadas, el campamento minero se ubica en las pendientes fuertemente inclinadas las que abarcan desde los 5° a 15° grados de inclinación los que corresponden al 41% del área.

La topografía subterránea esta constituida por cuatro niveles el nivel 1 encontrándose a 1610 msnm, el nivel 2 a 1591 msnm, el nivel 3 a 1567 msnm y el nivel 4 a 1559 msnm; el frente de explotación se encuentra en el tercer y cuarto nivel. En el cual a través del pozo se unen los niveles el cual también sirve como galería de transporte en el cual a través de ayuda de un winche se transporta el material entre los diferentes niveles.

La litología en el contrato minero “ORO SOL” comprende un complejo ígneo que comprende rocas volcánicas de composición andesítica presentan texturas afaníticas, estructuras masivas y de coloración variable entre verdosas, gris oscuro a marrón claro; también se encontró la presencia de Stocks subvolcánicos y andesita porfirítica, estas características son propias del Grupo Saraguro el cual esta fallado contra, la Unidad Pallatanga y rocas metamórficas.

Superficialmente la andesita presente en el área se encuentra altamente meteorizado lo cual se puede deber a las condiciones climáticas del sector, presencia de agua y la constitución mineralogía de dicha roca presentándose de manera de saprolito con tonalidades marrones a pardo oscuro; teniendo características de suelos lateríticos. Este saprolito aflora en la toda la parte superficial del contrato minero

Las principales estructuras encontradas corresponden a vetas, vetillas y fallas; de las cuales las vetas y vetillas se encuentran compuestas principalmente por cuarzo y sulfuros, estas presentan alteraciones con clorita MgFe-illita-carbonato y alteraciones propiliticas; las vetas y vetillas tienen una dirección preferencial de NE-SW con potencias que varían formando las veta tipo rosario o cola caballo típicos de la zona, la veta presentan buzamientos entre 35°-45°, también se encontró la presencia de una veta perpendicular con dirección preferencial de NW-SE.

La caracterización geomecánica de la galería del bloque de explotación de la mina “ORO SOL” se desarrolló mediante la aplicación de tres clasificaciones las cuales fueron: RMR, Q



de Barton y GSI, con los resultados de cada metodología se determinó que el macizo rocoso comprende principalmente características geomecánicas medias y buenas.

Según los resultados geomecánicos en la clasificación RMR se determinó que los tramos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 corresponden a un macizo medio de clase III; y el tramo 8, 15 y 16 pertenecen a un macizo malo de clase IV; según la valoración GSI, los tramos 1, 2, 4, 6, 7, 9, 10, 11 y 12 pertenecen a una calidad buena con estructura fracturada, los tramos 3, 5, 13, 14, 15 y 16 corresponden a una calidad buena con estructura muy fracturada y el tramo 8 pertenece a una calidad regular con estructura muy fracturada; y en cambio en base a la valoración Q de Barton, el tramo 1 corresponde a calidad media, los tramos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 pertenecen a una calidad mala y el tramo 8 pertenece a una calidad muy mala.

Con los datos obtenidos en la valoración de cada una de las metodologías de cálculo de geomecánica el tramo 8 es el más inestable, en el campo se pudo observar que este tramo presenta alta filtración de agua y la roca presenta muy baja resistencia.

La determinación del sostenimiento propuesto se basó en la clasificación de GSI, en el cual principal método de sostenimiento que se sugiere son los pernos de anclaje de tipo barra helicoidal con longitudes que varían entre 1 a 2 m y diámetros entre 16 a 20 mm, se sugiere este tipo debido a que constituye un sistema de sostenimiento permanente de alta adherencia por lo tanto de alta capacidad de anclaje; en los tramos de calidad regular se aplicó un espaciado de 1.2 m. x 1.2 m. y con un traslape de 0.30 m., en cambio en macizos de mala calidad se aplicó un espaciado de 1 m. x 1 m. y con un traslape de 0.30 m.

En el análisis cinemático mediante estereogramas se pudo observar la concentración de discontinuidades identificando de 3 a 4 familias de discontinuidades; determinando que existen 15 tramos donde se forman cuñas tetraédricas a excepción del tramo 11 donde no se forma una cuña debido a que presenta menos de tres familias de discontinuidades. Y al realizarse el análisis tridimensional se puede apreciar de mejor manera la disponibilidad espacial y la cantidad de cuñas formada en cada tramo a demás permitió determinar peso, volumen, ápice de la mayor cuña y factor de seguridad, así se identificó los tramos que requieren sostenimiento por inestabilidad y además se determinó su modo de fallamiento ya sea por deslizamiento o por caída libre.



9. Recomendaciones

Los pernos de anclaje seleccionados deben de ser de tipo helicoidal con resistencia a la tracción mínima de 6330 kg/cm², el diámetro de perforación de 32 mm y rellenos con lechada de hormigón que asegura su adherencia.

Para las características de los pernos se debe considerar, su longitud, diámetro, espaciado, y traslapes, estas características varían según las peculiaridades de cada cuña, también se debe tomar en cuenta como son colocados ya sea de forma puntual o sistemática esto de acuerdo a la inestabilidad que presente.

Llevar a cabo un muestreo adecuado y detallado con la finalidad de identificar de mejor manera por sectores la geología, la geotecnia o enriquecimiento de ciertos minerales,

Realizar un desquinche integral y adecuado en las galerías que son más transcurridas y llevar un monitoreo permanente esto debido a que las condiciones geomecánicas pueden variar según vallan reacomodándose los esfuerzos en el macizo rocoso

Utilizar equipos adecuadamente calibrados y certificados ya sea para laboratorio o campo ayudando a obtener datos más exactos y reales



10. Bibliografía

- ARCERNNR, A. d. (2020). *Reglamento de seguridad y salud en el trabajo en el ámbito minero*. Quito: Registro Oficial N° 339 – Tercer Suplemento.
- Ayala, C., & Posse, A. (2006). *Manual de ingeniería de taludes*. Madrid, España: Instituto geologico y minero de españa .
- Beatriz, C. F., Roble, G., Luis, J., & Gonzalez., Y. (2014). *Geología*. España: Paraninfa S.A.
- Diaz, J. S. (2009). *Litología y Estructura Geológica*. Colombia : Universidad Industrial de Santander .
- Enríquez, D. D.-G. (2015). *Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón Camilo Ponce Enríquez*. Azuay: Administracion 2014-2019.
- Escobar, G. D. (2017). *Manual de geología para ingenieros* . Bogota: Universidad Nacional de Colombia .
- Ferrer, M., & Gonzales, L. (2007). *Manual De Campa Para La Descripcion Y Caracterizacion De Macizos Rocosos en afloramientos* . Madrid: Instituto geologico y minero de españa.
- Fraga, H. R. (2018). *Geología: introduccion* . Argentina : Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de Rosario.
- Fraga, L. H., Mgter, L. M., & Polare, I. M. (2020). *Discontinuidades estructurales: discordancias y diaclasas* . Argentina : Universidad Nacional de Rosario.
- Gayarre, F. L. (2006). *Elementos de topografía y construcción*. Oviedo - España: Universidad de Oviedo .
- Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingenieria Geologica*. Madrid: Pearson.
- Huang, W. T. (2009). *Petrología* . Mexico: Limusa.
- Instituto Geografico Militar, I. (2017). *Hoja geologica Machala 1/100000*. Quito.
- Instituto Nacional De Prevención Sísmica, I. (2016). *Instituto Nacional De Prevención Sísmica*. Obtenido de <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%C3%B3gicas.pdf>



- Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología*. Argentina: Editorial Brujas.
- Maldonado, Y. (01 de 01 de 2018). *Macizo rocoso, matriz rocosa y discontinuidades. Descripción y caracterización de macizos rocosos*. Obtenido de Geología web: <https://bit.ly/33YMR24>
- Márquez, F. G. (2008). *Curso basico de Topografía/ Basic Course of topography*. Mexico : Editorial Pax México.
- Oyanguren, P. R., & Monge, L. A. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Parima, J., Parra, M., & Romero, R. (2017). *Geología estructural: rumbo, buzamiento, fallas, pliegues y discordancias* . Venezuela: Instituto Universitario Politecnico "Santiago Mariño".
- PRODEMINCA, P. d. (2000). *Evaluación de distritos mineros del Ecuador*. Quito: ilustrada.
- Ramírez, Y. C. (2004). *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Perú: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.
- Rocha, C. M. (2015). *Metodología de la investigación* . Mexico: Oxford University Press Mexico.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico: INTERAMERICANA EDITORES.
- Servicio Nacional de Geología y Minería, P. M. (2009). *Atlas de deformaciones cuaternarias de los andes*. Canada: Publicación Geológica Multinacional.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra Una introducción a la geología física*. Madrid, España: Pearson.
- Vega, A. M. (2015). *Interpretación de mapas y planos topográficos y dibujo de planos sencillos*. España: Paraninfo, S.A.
- Vich, R. B., & Ortiz, D. G. (2010). *Problemas de Geología Estructural: pliegues*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.



11. Anexos

Anexo 1. Mapa de topografía superficial del área minera “ORO SOL”

Anexo 2. Mapa de pendientes del área minera “ORO SOL”

Anexo 3: Mapa de topografía subterránea del área minera “ORO SOL”

Anexo 4: Mapa de muestreo superficial y subterráneo

Anexo 5: Mapa geológico estructural superficial del área minera “ORO SOL”

Anexo 6: Mapa de geología estructural subterránea del área minera “ORO SOL”

Anexo 7: Mapa geotécnico del área minera “ORO SOL”

(Ubicados en el CD-R Nro. 1)



Anexo 8: Fichas de descripción de afloramientos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-01		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro del campamento- cerca de escombrera		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651757	9662311	1610
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESIS		
	ígne	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

Presenta saprolito andesítico, como resultado de la meteorización y erosión de la roca preexistente, presenta microvetas de cuarzo alta mente meteorizado. Por su alta meteorización no se puede evidenciar la estructura del macizo rocoso.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-02		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro del campamento- lado derecho del área de maquinas		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651773	9662332	1616
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGIA	GENESISI			
	ínea	Metamorf.	Sedimentario	
	Plutónica	Foliada	Clástica	
	Volcánica	X No foliada	No clástica	
	Subvolcanica			
Formación	Grupo Saraguro			

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-03		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro del campamento- cerca de las canchas		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651694	9662314	1617
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESISI		
	ígne	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()	Datos estructurales	No definidos
---------------------------	--------------	---------------	-------------	----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente, con una capa de suelo orgánico de 20 cm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-04		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Fuera del campamento- A lado de la vía		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651681	9662241	1613
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESISI		
	ínea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo ()	Arbustivo (X)	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente, con suelo orgánico de 24 cm de potencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-05		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Fuera del campamento- A lado de la vía		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	641730	9662204	1622
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESISI		
	ígne	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo ()	Arbustivo (X)	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-06		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Fuera del campamento- A lado de la vía		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651821	9662258	1625
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLÓGIA	GENESIS I		
	ínea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo ()	Arbustivo ()	Arbóreo (X)
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	Rumbo: 88 Buz:35SW
----------------------------	--------------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
		X					

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
				X		

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; poco consolidada con tonalidades oscuras superficialmente, con una vegetación Arborea y una potencia de suelo orgánico de 25 cm



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-07		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro del campamento- cerca del polvorín		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651719	9662228	1605
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESIS I		
	ígne	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abúndate óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-08		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro del campamento- cerca del polvorín		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651708	9662212	1602
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGIA	GENESISI		
	ígnea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente y stockwork de cuarzo

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS	
---	---	---

Código de Afloramiento	AOS-10		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	En la vía de ingreso al campamento		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651787	9662525	1642
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGIA	GENESIS					
	ígne		Metamorf.		Sedimentario	
	Plutónica		Foliada		Clástica	
	Volcánica	X	No foliada		No clástica	
	Subvolcánica					
Formación			Grupo Saraguro			

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()	Datos estructurales	No definidos
---------------------------	--------------	---------------	-------------	----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		



Observaciones:
 solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-11		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Detrás de una vivienda		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X 651900	Y 9662480	Z 1643
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGIA	GENESIS		
	ínea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación	Grupo Saraguro		

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
Datos estructurales	No definidos		

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:
 solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-12		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	Dentro de una vivienda		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651875	9662505	1643
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESIS		
	ínea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcanica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
---------------------------	--------------	---------------	-------------

Datos estructurales	No definidos
----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:
 solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-13		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	En la vía de acceso		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651743	9662496	1638
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGÍA	GENESIS I		
	ígne	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación		Grupo Saraguro	

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()	Datos estructurales	No definidos
---------------------------	--------------	---------------	-------------	----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 Carrera De Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial



FICHA DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

Código de Afloramiento	AOS-14		
Responsable	Edison Bacuilima	Fecha: 04/2021	
Sector Referencial	En la vía de acceso		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z
	651992	9662512	1646
Tipo afloramiento	Antrópico		

LITOLOGIA	GENESIS		
	ínea	Metamorf.	Sedimentario
	Plutónica	Foliada	Clástica
	Volcánica	X No foliada	No clástica
	Subvolcánica		
Formación	Grupo Saraguro		

Tipo de vegetación	Herbáceo (X)	Arbustivo ()	Arbóreo ()
Datos estructurales	No definidos		

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda (uña)	Muy blanda (navaja)	Blanda (punta de martillo)	Media (1 golpe de martillo)	dura (+1 golpe de martillo)	Muy dura (varios golpes)	Extremadamente dura (solo se raya con martillo)
	X						

Grado de meteorización	Sana	Algo meteorizada	Moderadamente meteorizado	Muy meteorizado	Completamente meteorizado	Suelo residual
					X	

Hidrogeología	Sin presencia de agua	Seco (con señal de agua)	Húmedo	Goteo	Flujo
			X		

FOTOGRAFIA



Observaciones:

solo se identificó presencia de saprolito de color pardo oscuro constituido de material areno arcilloso con abundante óxido de hierro; denominada saprolito andesítico debido a la alta meteorización de la roca andesítica preexistente



Anexo 9: Resultados fisico-mecánicos de las muestras extraídas en campo



ESTSUELCON CIA. LTDA.

ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE COMPRESIÓN CILÍNDRICA EN ROCAS

ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL BLOQUE DE EXPLOTACION DE LA CONCESION MINERA "RENACER M3 CODIGO 101602", MINA							
PROY. : "ORO SOL", UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY, CANTÓN PONCE ENRIQUEZ, SECTOR SAN GERADO.							
OBRA : PROYECTO DE TESIS							
UBIC. : SECTOR SAN GERARDO, CANTON PONCE ENRIQUEZ, PROVINCIA D							
MINA: "ORO SOL"							
FECHA : SEPTIEMBRE-2021 OPERADOR O.C. PROFUND.: MUESTRAS SUBTERRANEA							
COORDENADAS: X: Y:							
1.- DENSIDAD							
Muestra	PESO AIRE	PESO SUMERGIDC	PESO SECO	D. MASIVA	D. S.S.S.	APARENTE	ABSORCIÓN
Nº	g	cm ³	g	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%
1	597.34	377.96	589.04	2.69	2.72	2.79	1.41%
2	541.58	354.15	539.23	2.88	2.89	2.91	0.44%
3	831.43	519.50	825.83	2.65	2.67	2.70	0.68%
4	749.75	469.30	747.82	2.67	2.67	2.68	0.26%
Promedio				2.72	2.74	2.77	0.70%
2.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN							
Muestra	DIÁMETRO	RADIO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO
Nº	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg	Kg/cm ²
1	5.54	2.77	11.90	20.86	248.26	7,260.26	348.004
2	5.07	2.54	10.94	17.47	191.15	6,485.29	371.164
3	5.54	2.77	10.78	20.86	224.90	4,517.27	216.525
4	5.03	2.52	10.84	17.20	186.43	9,656.56	561.485
						Promedio	311.90

Ing. Paulina Calderón
 LABORATORIO



Preparación del extractor de núcleos



Uso del extractor de núcleos



Testigos para los ensayos



Igualar base de los testigos



Muestras para los ensayos



Peso de las muestras



Ensayo de la muestra



Punto de falla de la muestra



Anexo 10: Calculo geomecánica mediante las metodologías de Bieniawski (RMR), GSI (índice de calidad del macizo rocoso), y clasificación de Barton

ESTACIÓN 1- PRIMER TRAMO



RESULTADOS GEOMECAÑICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 1
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita basáltica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	34.128	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 9	85.3	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	0.1-1mm	3
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo buena (II)	62
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	52
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	67
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		62
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			85.3
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			1
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.33
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo medio	5.630

ESTACIÓN 2- SEGUNDO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 2
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)		Litología
		Andesita dacítica	
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	36.399	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 10	82	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	>20	0
	Abertura	0,1-1,0 mm	3
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Húmedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	58
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	48
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	66
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		61
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			82
Número de familias de juntas (Jn)			9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	3.608

ESTACIÓN 3- TERCER TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 3
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita dacitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	36.399	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 13	72.1	13
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	1-5mm	1
	Rugosidad	Rugosa	3
	Relleno	Relleno blando < 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	54
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	44
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	59
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		54
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			72.1
Número de familias de juntas (Jn)			9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	2.115

ESTACIÓN 4- CUARTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 4
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	21.23	2
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 10	82	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5 mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno blando < 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Húmedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	54
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	44
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	62
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		57
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			82
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.33
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	1.804

ESTACIÓN 5- QUINTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 5
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)		Litología Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	55.063	7
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 9	85.3	17
3	Separación entre diaclasas	0.06-0.2m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	55
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	45
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	60
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		55
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			85.3
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.33
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	1.877

ESTACIÓN 6- SEXTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECAÑICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 6
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	55.063	7
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 10	82	17
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6 m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno blando > 5 mm	2
5	Alteración	Ligeramente alterada	5
	Agua subterránea	Ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo buena (II)	57
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	47
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	62
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		57
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			82
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	3.608

ESTACIÓN 7- SEPTIMO TRAMO



RESULTADOS GEOMECAÑICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 7
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	55.063	7
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 8	88.6	17
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20 m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	inalterada	6
5	Agua subterránea	Ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo buena (II)	58
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	58
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	63
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		58
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			88.6
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			1.5
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	1.949

ESTACIÓN 8- OCTAVO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 8
Ubicación	Galería del bloque de explotación (3er nivel)	Litología	Andesita stockwork QZ
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	21.234	2
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 14	68.8	13
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6m	10
4	Longitud de la discontinuidad	3-10m	2
	Abertura	1-5mm	1
	Rugosidad	ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando < 5 mm	2
	Alteración	moderadamente alterado	3
5	Agua subterránea	goteando	4
RMR básico		Tipo de macizo malo (IV)	40
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección perpendicular al túnel y buzamiento 20°-45°	-5
RMR corregido		Tipo de macizo malo (IV)	35
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	51
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	disgregado: pobrementemente enclavado altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados		46
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			68.8
Número de familias de juntas (Jn)			12
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.2
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo muy malo	0.229

ESTACIÓN 9- NOVENO TRAMO



RESULTADOS GEOMECAÑICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 9
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)		Litología
		Andesita basáltica	
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	34.128	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 8	88.6	17
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	<1mm	5
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
5	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Ligeramente húmedo	10
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	59
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	49
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	64
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		59
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			88.6
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	2.924

ESTACIÓN 10- DECIMO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 10
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita basáltica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	34.128	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 10	82	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Humedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	56
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	46
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	64
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		59
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			82
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			1.5
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	2.706

ESTACIÓN 11- ONCEAVO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 11
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita basáltico
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	34.128	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 9	85.3	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro > 5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Humedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	56
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	46
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	64
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		59
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			85.3
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			1.5
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$			Tipo de macizo malo 2.815

ESTACIÓN 12- DOCEAVO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 12
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita dacitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	34.128	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 8	88.6	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno duro >5 mm	2
	Alteración	Ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Humedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	56
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR condiciones secas		Tipo de macizo bueno (II)	64
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		59
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			88.6
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	2.924

ESTACIÓN 13- DECIMO TERCER TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 13
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita dacitico
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	36.399	4
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 8	88.6	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno blando >5 mm	0
	Alteración	moderadamente alterada	3
5	Agua subterránea	ligeramente humedo	10
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	55
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	45
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	60
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		55
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			88.6
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$			Tipo de macizo malo 1.949

ESTACIÓN 14- DECIMO CUARTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 14
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita dacítica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	21.234	2
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 10	82	17
3	Separación entre diaclasas	0.6-2m	15
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	>5mm	0
	Rugosidad	Rugosa	5
	Relleno	Relleno blando >5 mm	0
	Alteración	ligeramente alterada	5
5	Agua subterránea	Húmedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	52
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	60
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		55
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			82
Número de familias de juntas (Jn)			6
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	2.706

ESTACIÓN 15- DÉCIMO QUINTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 15
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	55.063	7
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 12	75.4	17
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6 m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	1-5mm	1
	Rugosidad	ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando >5 mm	0
5	Alteración	moderadamente alterada	3
	Agua subterránea	Humedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	49
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	39
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	57
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		52
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			75.4
Número de familias de juntas (Jn)			9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			5
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	1.106

ESTACIÓN 16- DÉCIMO SEXTO TRAMO



RESULTADOS GEOMECÁNICAS			
Numero de estación geotécnica			Tramo 16
Ubicación	Galería del bloque de explotación (4er nivel)	Litología	Andesita propilitica
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)			
Parámetro		Valor/condición	Puntaje
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	55.063	7
2	RQD (115-3.3Jv) Jv= 12	75.4	17
3	Separación entre diaclasas	0.2-0.6 m	10
4	Longitud de la discontinuidad	10-20m	1
	Abertura	1-5mm	1
	Rugosidad	ligeramente rugosa	3
	Relleno	Relleno blando >5 mm	0
	Alteración	moderadamente alterada	3
5	Agua subterránea	Humedo	7
RMR básico		Tipo de macizo medio (III)	49
6	Corrección por Orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades	Dirección paralela al túnel y buzamiento 20°-45°	-10
RMR corregido		Tipo de macizo medio (III)	39
RMR condiciones secas		Tipo de macizo medio (III)	57
GSI (ÍNDICE DE CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO)			
GSI	Muy fracturado macizo perturbado con bloques entrados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas		52
ÍNDICE Q DE BARTON			
Parámetro			Valor
RQD			75.4
Número de familias de juntas (Jn)			9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)			3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)			3
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)			0.33
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)			2.5
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$		Tipo de macizo malo	1.106



Anexo 11: Medidas de sostenimiento para la galería del bloque de explotación



N° de tramo	Litología	Densidad gr/cm ³	Ápice m	Peso ton	Longitud m	Longitud aplicable in situ m	Diámetro cm	Masa nominal Kg/m	Diámetro cm	Resistencia a la tracción Kg/m ²	Adherencia del perno-cemento Kg/m ²	Área cm ²	Perímetro cm	Capacidad ton	Factor de seguridad
2	Andesita basáltica	2.69	0.53	1.17	0.852	1	18	1.998	17.994	6330	33.425	2.545	5.655	16.108	13.767
3	Andesita dacítica	2.69	1.4	1	1.773	2	18	1.998	17.994	6330	16.068	2.545	5.655	16.108	16.108
5	Andesita porfírica	2.88	4.28	8.49	29.731	2	20	2.466	19.991	6330	1.065	3.142	6.283	19.886	2.342
6	Andesita propilitica	2.88	1.6	1.505	2.023	2	20	2.466	19.991	6330	15.643	3.142	6.283	19.886	13.213
8	Andesita propilitica	2.65	0.62	1.976	0.944	1	18	1.998	17.994	6330	30.168	2.545	5.655	16.108	8.152
9	Andesita basáltica	2.65	2.52	28.16	3.312	2	22	2.984	21.990	6330	10.511	3.801	6.912	24.062	0.854
10	Andesita basáltica	2.67	0.87	1.096	1.203	1.5	18	1.998	17.994	6330	23.681	2.545	5.655	16.108	14.697
12	Andesita dacítica	2.67	0.65	0.281	0.975	1	16	1.578	15.991	6330	25.965	2.011	5.027	12.727	45.293
14	Andesita propilitica	2.69	0.63	0.238	0.955	1	16	1.578	15.991	6330	26.521	2.011	5.027	12.727	53.476
15	Andesita propilitica	2.69	0.43	0.175	0.750	1	16	1.578	15.991	6330	33.755	2.011	5.027	12.727	72.727
16	Andesita propilitica	2.88	1.37	7.86	1.751	2	20	2.466	19.991	6330	18.073	3.142	6.283	19.886	2.530



Determinación de sostenimiento propuesto

Para el cálculo se ha empleado la fórmula de Barton et al., 1980 en los sectores en donde no se forman cuñas tetraedrales mientras que en sectores en donde se dan las condiciones de formación de cuñas tetraedrales se ha empleado la fórmula determinada por Emiliano Mauro Giraldo Paredez, mencionada en el artículo Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca, perteneciente a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en el año 2011

Cálculo de la longitud de pernos de anclaje en sectores donde no se forman cuñas tetraedrales:

Se realiza el cálculo en función del ancho de la excavación, considerando la fórmula propuesta por Barton et al. (1980), citado por Gavilanes y Andrade (2004):

$$L = \frac{2+0.15B}{ESR}$$

- **L** = Longitud del perno
- **B** = Ancho de la excavación
- **ESR** = El valor ESR está relacionado con el uso previsto de la excavación y con el grado de seguridad que se exige del sistema de soporte instalado para mantener la estabilidad de la excavación. Barton et al (1974) sugieren un valor de 1.6 para excavaciones mineras permanentes, túneles de conducción de agua para obras hidroeléctricas, túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.

Cálculo de la longitud de pernos de anclaje en sectores donde sí se forman cuñas tetraedrales:

Para determinar el perno adecuado, se calcula cada uno de los ítems que se menciona a continuación:

1. **Longitud del perno:** Calculada en función del ápice de la mayor cuña formada en el tramo, misma que se muestra en el software Unwedge 3.0, mientras que la densidad de la roca ha sido previamente determinada en laboratorio.

$$L = 0.3e^{(0.7h\rho-4.2)} + h + 0.31$$

- **h** = Altura de la cuña o potencia de bloque en a sostener (m).
- **ρ** = Densidad de la roca (Ton/m³).

2. **Diámetro Nominal (dn):** El diámetro nominal (dn) de acuerdo a la Norma Chilena NCh204 Of.2006 está dado por la fórmula [3], en donde la masa ha sido tomada de catálogo de en función de las características técnicas de las varillas microaleadas de la casa comercial Novacero (Figura 1).

$$dn = 12.73\sqrt{m_n}$$

- m_n = masa nominal (Kg/m)
- 3. **Adherencia entre el perno y el cemento (r ; (Kg/cm²):** Calculada tomando en cuenta una resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 Kg/cm²

$$r = 0.25 * R_c * (d/L)$$

- R_c = Resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 Kg/cm²
- d = Diámetro del perno en centímetros
- L = Longitud del perno en centímetros

4. **Área del perno (S; cm²)**

$$S = \pi r^2$$

- r = Radio del perno de anclaje

5. **Circunferencia del perno (U; cm)**

$$U = \pi d$$

- d = Diámetro del perno de anclaje

6. **Capacidad del perno (P; Kg)**

$$P = r * U * L$$

7. **Factor de seguridad (FS)**

$$FS = \frac{P}{T}$$

Diámetro nominal	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	mm
Área = πr^2	0.503	0.786	1.131	1.539	2.011	2.545	3.142	3.801	4.909	6.158	8.043	cm ²
Perímetro = $2 \pi r$	2.513	3.142	3.770	4.398	5.027	5.655	6.283	6.912	7.854	8.797	10.053	cm
Masa	0.395	0.617	0.888	1.208	1.578	1.998	2.466	2.984	3.853	4.843	6.313	kg/m
Masa de 1 varilla												
de 6 m	2.370	3.702	5.328	7.248	9.468	11.988	14.796	17.904	23.118	29.004	37.878	kg
de 9 m	3.555	5.553	7.992	10.872	14.202	17.982	22.194	26.856	34.677	43.506	56.817	kg
de 12 m	4.740	7.404	10.656	14.496	18.936	23.976	29.592	35.808	46.236	58.008	75.756	kg
Número de varillas en 45.36 kg (1 quintal)	19.139	12.253	8.513	6.258	4.791	3.784	3.006	2.533	1.962	1.564	1.198	de 6 m
	12.759	8.169	5.676	4.172	3.194	2.523	2.004	1.689	1.308	1.043	0.798	de 9 m
	9.570	6.126	4.257	3.129	2.395	1.892	1.533	1.267	0.981	0.782	0.599	de 12 m

Figura 56:: características de varilla microaleadas NOVACERO

Una vez que se ha calculado el FS, se determina si la capacidad del perno elegido es la adecuada o no, si este valor no es adecuado, se vuelve a repetir este procedimiento, cambiando por ejemplo el diámetro del perno ya que la capacidad resistente de los pernos depende de la calidad del acero empleado y de su diámetro, esto se realiza hasta obtener un Factor de Seguridad adecuado. En sectores donde el macizo rocoso sea de mala calidad se procede a la combinación de pernos de anclaje con mallas electrosoldadas.



Anexo 12: Certificación de traducción del resumen



**FINE-TUNED ENGLISH
LANGUAGE INSTITUTE**

Líderes en la Enseñanza del Inglés

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del Resumen de Tesis titulada: **ESTUDIO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA CONCESIÓN MINERA "RENACER M3 CÓDIGO 101602" MINA "ORO SOL", UBIADA EN LA PROVINCIA DE AZUAY, CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ SECTOR SAN GERARDO**, autoría del Sr. Edison Geovanny Bacuilima Tene, con CI. 1150109310, egresado en la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza al interesado, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 10 de mayo de 2023.

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA. LTDA.



Matriz - Loja: Macará 205-51 entre Rocafuerte y Miguel Riofrío - Teléfono: 072578899
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero - Teléfono: 072608169
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas - Edificio Sindicato de Choferes - Teléfono: 072301329

www.fte.edu.ec