



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES**

**INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO
TERRITORIAL**

**“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA GALERÍA PRINCIPAL
DE TRANSPORTE DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA
CÍA. LTDA., UBICADA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ,
PROVINCIA DE AZUAY.”**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL
Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

AUTOR: WALTER STALIN SARANGO SARANGO

DIRECTOR: ING. JIMMY STALIN PALADINES, MG. SC.

LOJA – ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN

Ingeniero

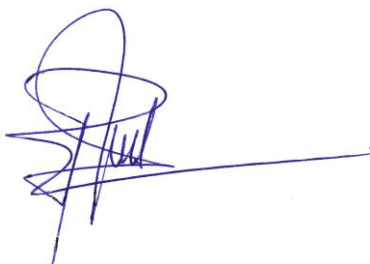
Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, realizado por el señor egresado: WALTER STALIN SARANGO SARANGO con C.I.; 1105145526, en su proceso de investigación denominado: **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA., UBICADA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA DE AZUAY”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia me permito autorizar para su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 26 de julio del 2017



Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **WALTER STALIN SARANGO SARANGO** declaro ser autor del proyecto de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Walter Stalin Sarango Sarango', with a large, stylized flourish underneath.

Cédula: 1105145526

Fecha: Loja, 14 de diciembre de 2017

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **WALTER STALIN SARANGO SARANGO**, declaro ser el autor de la tesis titulada: **“LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA., UBICADA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA DE AZUAY”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, a los catorce días del mes de diciembre del dos mil diecisiete, en la ciudad de Loja firma el autor.

Firma:



Autor:

Walter Stalin Sarango Sarango

Cédula:

1105145526

Dirección:

Loja (Benjamín Pereira 18-18 y José M. Riofrío)

Correo electrónico:

stalin_sarango92@hotmail.com

Teléfono:

072576008

Celular:

0991858442

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis:

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

Tribunal de Grado:

Ing. Carlomagno Nixon Chamba Tacuri, Mg. Sc.

Ing. Jorge Michael Valarezo Riofrío, Mg. Sc.

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Con esfuerzo y sacrificio dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental durante esta etapa estudiantil, de manera muy especial a mi querida madre por el apoyo brindado durante toda mi vida, por la confianza que ha depositado en mí y por todo su cariño, este trabajo va dedicado a ella, a mis hermanas Nubia y Thalía y de una manera muy especial a mi tío Julián por ser ejemplo de superación y estar siempre presente con su apoyo incondicional.

A mis sobrinos y a mi abuelita Rosario (†) quien desde el cielo me guía por el camino del bien.

Walter Stalin.

AGRADECIMIENTO

A Dios por las bendiciones que me ha dado a lo largo de estos años de preparación y por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

Expreso un agradecimiento muy especial a mi familia quien ha estado apoyándome a lo largo de esta etapa estudiantil y ha sido un pilar fundamental para llegar a alcanzar este logro, muy especialmente a mi mamá Teresa, mis hermanas Nubia y Thalía y mi tío Julián.

A Minervilla Cía. Ltda., por abrirme las puertas de sus instalaciones y brindarme el apoyo necesario para poder desarrollar la fase de campo que comprende este trabajo, muy especialmente al Gerente General: Señor Xavier Pelay, al Señor Joffre Chévez: socio de Minervilla y a los Ingenieros Luis Bravo y David Silva.

Al Ingeniero Stalin Paladines por guiar el presente trabajo en cada una de sus etapas. Así mismo a los docentes de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial: Dra. Silvia Loaiza, Ingeniero Michael Valarezo e Ingeniero Hernán Castillo quienes aportaron con sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este trabajo, además a los responsables de los laboratorios de Materiales de Construcción y Química: Ingeniera Emperatriz Bailón e Ingeniero Luis Angamarca respectivamente, por facilitarme las instalaciones de los mismos.

Al Ingeniero David González por su aporte en la fase de laboratorio, al Ingeniero Juan Pablo Jaramillo y a todos quienes estuvieron presentes de alguna u otra manera con su ayuda, muy especialmente a mis amigos Juan Medina, Karla Malla, Samuel Macías y a los estudiantes Joseph Saavedra y Sebastián Mera, pertenecientes a la Carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad Central del Ecuador.

Walter Stalin.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE CUADROS	xv
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
3. ABSTRACT.....	3
4. INTRODUCCIÓN	4
5. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
5.1 Roca.....	6
5.2 Petrología y Petrografía	6
5.3 Mineral y Mineralogía.....	6
5.4 Topografía	7
5.4.1 Topografía subterránea	7
5.5 Geología.....	8
5.5.1 Geología estructural.....	8
5.5.1.1 Discontinuidades	9
5.5.2 Clasificaciones Geomecánicas	18
5.5.2.1 Clasificación Geomecánica de Bieniawski (RMR).....	18
5.6 Proyecciones estereográficas	23
5.7 Estabilidad a distintas profundidades	24

5.8	Roturas dependientes de la estructura.....	24
5.8.1	Caída de cuñas del techo	24
6.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
6.1	Materiales	27
6.1.1	Materiales de campo.....	27
6.1.2	Equipos de oficina	27
6.1.3	Software empleados	27
6.2	Metodología.....	28
6.2.1	Primer objetivo.....	28
6.2.1.1	Trabajo de gabinete.....	28
6.2.1.2	Trabajo de campo.....	30
6.2.1.3	Trabajo de laboratorio.....	33
6.2.2	Segundo objetivo	34
6.2.2.1	Trabajo de gabinete.....	34
6.2.2.2	Trabajo de campo.....	37
6.2.2.3	Trabajo de laboratorio.....	39
6.2.3	Tercer objetivo	40
6.2.3.1	Trabajo de gabinete.....	40
6.2.3.2	Trabajo de campo.....	41
6.2.3.3	Trabajo de laboratorio.....	42
7.	RESULTADOS.....	45
7.1	Ubicación y Acceso.....	45
7.2	Topografía superficial	47
7.3	Topografía subterránea	49
7.4	Geología Regional	51
7.4.1	Rocas metamórficas	54
7.4.2	Unidad Pallatanga	55
7.4.3	Unidad Celica	55

7.4.4	Unidad Yunguilla.....	55
7.4.5	Unidad Sacapalca.....	56
7.4.6	Unidad Macuchi	56
7.4.7	Grupo Angamarca	57
7.4.8	Grupo Saraguro	57
7.4.9	Depósitos Cuaternarios	58
7.4.10	Rocas Intrusivas	59
7.4.11	Estructuras	61
7.5	Geología Local.....	62
7.5.1	Geología subterránea: Descripción de la litología en la galería principal de transporte.....	68
7.5.1.1	Descripción macroscópica de las muestras de roca	73
7.5.1.2	Descripción microscópica de las muestras de roca.....	78
7.5.2	Estructuras y Mineralización	84
7.6	Caracterización del Macizo Rcoso	89
7.7	Análisis Cinemático.....	126
7.7.1	Análisis bidimensional mediante estereogramas.....	126
7.7.2	Análisis tridimensional mediante software Unwedge 3.0.....	144
8.	DISCUSIÓN.....	159
9.	CONCLUSIONES	162
10.	RECOMENDACIONES	165
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	167
12.	ANEXOS.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Representación de las familias de discontinuidades mediante un bloque de diagrama.....	11
<i>Figura 2.</i> Superficies de estratificación horizontales de gran continuidad en macizo rocoso calizo.	11
<i>Figura 3.</i> Superficies de laminación en yesos.	12
<i>Figura 4.</i> Elementos de fallas.....	13
<i>Figura 5.</i> Medida de orientación de discontinuidades.....	14
<i>Figura 6.</i> Medida del espaciado en una cara expuesta del afloramiento (ISRM, 1981).	15
<i>Figura 7.</i> Curva empleada en la determinación de los valores de la Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca.	22
<i>Figura 8.</i> Curva empleada en la determinación de los valores del RQD.....	22
<i>Figura 9.</i> Curva empleada en la determinación del puntaje del espaciamiento de discontinuidades.	22
<i>Figura 10.</i> Falsilla de Schmidt a la izquierda y a la derecha Falsilla de Wulff.	23
<i>Figura 11.</i> Caída libre de una cuña en una excavación subterránea.	25
<i>Figura 12.</i> Caída de una cuña por deslizamiento en una excavación subterránea.	25
<i>Figura 13.</i> Representación estereográfica de una cuña estable en una excavación subterránea.....	26
<i>Figura 14.</i> Ficha empleada para la caracterización de afloramientos	29
<i>Figura 15.</i> Formato empleado para la caracterización geomecánica del macizo rocoso.	34
<i>Figura 16.</i> Tabla general para la determinación del GSI.	36
<i>Figura 17.</i> Gráfico empleado en la determinación del Índice de Rugosidad JRC	38
<i>Figura 18.</i> Representación gráfica de las pendientes.....	48
<i>Figura 19.</i> Mapa de las subdivisiones metalotectónicas del Distrito Azuay	53
<i>Figura 20.</i> Mapa geológico simplificado del Distrito Azuay basado en los mapas geológicos del Subcomponente 3.3 - PICG (hojas 1 y 2 1:200000), y el mapa de la parte sur de la Cordillera Real a una escala 1:500000. (Litherland et al., 1994).	60
<i>Figura 21.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR01	78

<i>Figura 22.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR02.	79
<i>Figura 23.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR03.	79
<i>Figura 24.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR04.	80
<i>Figura 25.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR05.	81
<i>Figura 26.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR06.	81
<i>Figura 27.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR07.	82
<i>Figura 28.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR08.	82
<i>Figura 29.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR09.	83
<i>Figura 30.</i> Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR10.	83
<i>Figura 31.</i> Comportamiento del macizo rocoso de la galería principal de transporte.	125
<i>Figura 32.</i> Red estereográfica del tramo 1.	126
<i>Figura 33.</i> Redes estereográficas de los tramos 2 y 3.	127
<i>Figura 34.</i> Red estereográfica del tramo 4.	128
<i>Figura 35.</i> Redes estereográficas de los tramos 5 y 6.	128
<i>Figura 36.</i> Red estereográfica del tramo 7.	129
<i>Figura 37.</i> Red estereográfica del tramo 8.	130
<i>Figura 38.</i> Redes estereográficas de los tramos 9 y 10.	131
<i>Figura 39.</i> Redes estereográficas de los tramos 11 y 12.	131
<i>Figura 40.</i> Redes estereográficas de los tramos 13 y 14.	132
<i>Figura 41.</i> Red estereográfica del tramo 15.	133
<i>Figura 42.</i> Red estereográfica del tramo 16.	134
<i>Figura 43.</i> Redes estereográficas de los tramos 17 y 18.	134
<i>Figura 44.</i> Redes estereográficas de los tramos 19 y 20.	135
<i>Figura 45.</i> Redes estereográficas de los tramos 21 y 22.	136
<i>Figura 46.</i> Red estereográfica del tramo 23.	137
<i>Figura 47.</i> Red estereográfica del tramo 24.	137
<i>Figura 48.</i> Redes estereográficas de los tramos 25 y 26.	138
<i>Figura 49.</i> Redes estereográficas de los tramos 27 y 28.	139

<i>Figura 50.</i> Red estereográfica del tramo 29.	140
<i>Figura 51.</i> Red estereográfica del tramo 30.	141
<i>Figura 52.</i> Redes estereográficas de los tramos 31 y 32.....	142
<i>Figura 53.</i> Red estereográfica del tramo 33.	143
<i>Figura 54.</i> Red estereográfica del tramo 34.	143
<i>Figura 55.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 1.....	144
<i>Figura 56.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 8.....	145
<i>Figura 57.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 16.....	146
<i>Figura 58.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 19.....	148
<i>Figura 59.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 20.....	149
<i>Figura 60.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 24.....	150
<i>Figura 61.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 27.....	151
<i>Figura 62.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 28.....	152
<i>Figura 63.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 29.....	154
<i>Figura 64.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 31.....	155
<i>Figura 65.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 32.....	156
<i>Figura 66.</i> Disposición de cuñas en el Tramo 33.....	158

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<i>Fotografía 1.</i> Toma de muestra de roca en galería principal de transporte.....	31
<i>Fotografía 2.</i> Toma de muestra de mineral de la veta Milagro.....	32
<i>Fotografía 3.</i> Máquina empleada para realizar los cortes de las rocas.....	39
<i>Fotografía 4.</i> Llenado de los picnómetros con el material pulverizado.	43
<i>Fotografía 5.</i> Agitación de la muestra pulverizada y agua destilada contenidas en el picnómetro.....	43
<i>Fotografía 6.</i> Proceso de sedimentación de dos muestras de roca.	44
<i>Fotografía 7.</i> Diaclasamiento centimétrico de los basaltos.....	62
<i>Fotografía 8.</i> Contacto entre basalto y diorita, cerca al afloramiento 09.	63
<i>Fotografía 9.</i> Toma de datos y descripción del afloramiento 10.	64
<i>Fotografía 10.</i> Xenolitos basálticos aprisionados en pórfido diorítico del afloramiento AMV009.....	65
<i>Fotografía 11.</i> Muestra de cuarzoandesita porfídica de hornblenda del afloramiento AMV001.....	66
<i>Fotografía 12.</i> Bocamina del área minera Minervilla.	68
<i>Fotografía 13.</i> Muestra de roca tomada a 27 metros de la bocamina.....	73
<i>Fotografía 14.</i> Muestra de roca tomada a 77 metros de la bocamina.....	73
<i>Fotografía 15.</i> Muestra de roca tomada a 147 metros de la bocamina.....	74
<i>Fotografía 16.</i> Muestra de roca tomada a 180 metros de la bocamina.....	74
<i>Fotografía 17.</i> Muestra de roca tomada a 213 metros de la bocamina.....	75
<i>Fotografía 18.</i> Muestra de roca tomada a 342 metros de la bocamina.....	75
<i>Fotografía 19.</i> Muestra de roca tomada a 385 metros de la bocamina.....	76
<i>Fotografía 20.</i> Muestra de roca tomada a 617 metros de la bocamina.....	76
<i>Fotografía 21.</i> Muestra de roca tomada al Sur de la veta Lupe.....	77
<i>Fotografía 22.</i> Muestra de roca tomada al Sur de la veta Rosita.....	77
<i>Fotografía 23.</i> Zona de desprendimiento de material desde el techo del tramo 28.....	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Descripción de la continuidad</i>	15
Tabla 2. <i>Coordenadas de ubicación de los afloramientos descritos</i>	30
Tabla 3. <i>Coordenadas del área de la Compañía Minervilla Cía. Ltda.</i>	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)	21
Cuadro 2. Detalle de los puntos de muestreo en subterráneo.....	32
Cuadro 3. Formato empleado para la caracterización macroscópica de las rocas.	33
Cuadro 4. Pendientes del Área minera Minervilla.....	47
Cuadro 5. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 27 metros de la bocamina	73
Cuadro 6. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 77 metros de la bocamina	73
Cuadro 7. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 147 metros de la bocamina	74
Cuadro 8. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 180 metros de la bocamina	74
Cuadro 9. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 213 metros de la bocamina	75
Cuadro 10. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 342 metros de la bocamina	75
Cuadro 11. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 385 metros de la bocamina	76
Cuadro 12. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 617 metros de la bocamina	76
Cuadro 13. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada al Sur de la veta Lupe	77
Cuadro 14. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada al Sur de la veta Rosita	77
Cuadro 15. Caracterización del macizo rocoso del primer tramo	89
Cuadro 16. Caracterización del macizo rocoso del segundo tramo	90
Cuadro 17. Caracterización del macizo rocoso del tercer tramo	91
Cuadro 18. Caracterización del macizo rocoso del cuarto tramo.....	92
Cuadro 19. Caracterización del macizo rocoso del quinto tramo.....	93

Cuadro 20. Caracterización del macizo rocoso del sexto tramo	94
Cuadro 21. Caracterización del macizo rocoso del séptimo tramo	95
Cuadro 22. Caracterización del macizo rocoso del octavo tramo	96
Cuadro 23. Caracterización del macizo rocoso del noveno tramo	97
Cuadro 24. Caracterización del macizo rocoso del décimo tramo	98
Cuadro 25. Caracterización del macizo rocoso del onceavo tramo	99
Cuadro 26. Caracterización del macizo rocoso del doceavo tramo	100
Cuadro 27. Caracterización del macizo rocoso del décimo tercer tramo	101
Cuadro 28. Caracterización del macizo rocoso del décimo cuarto tramo	102
Cuadro 29. Caracterización del macizo rocoso del décimo quinto tramo.....	103
Cuadro 30. Caracterización del macizo rocoso del décimo sexto tramo.....	104
Cuadro 31. Caracterización del macizo rocoso del décimo séptimo tramo.....	105
Cuadro 32. Caracterización del macizo rocoso del décimo octavo tramo.....	106
Cuadro 33. Caracterización del macizo rocoso del décimo noveno tramo.....	107
Cuadro 34. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo tramo.....	108
Cuadro 35. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo primer tramo.....	109
Cuadro 36. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo segundo tramo	110
Cuadro 37. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo tercer tramo.....	111
Cuadro 38. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo cuarto tramo	112
Cuadro 39. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo quinto tramo	113
Cuadro 40. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo sexto tramo	114
Cuadro 41. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo séptimo tramo	115
Cuadro 42. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo octavo tramo	116
Cuadro 43. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo noveno tramo	117
Cuadro 44. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo tramo	118
Cuadro 45. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo primer tramo	119
Cuadro 46. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo segundo tramo.....	120
Cuadro 47. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo tercer tramo	121

Cuadro 48. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo cuarto tramo	122
Cuadro 49. Resumen de la caracterización geomecánica de la galería principal de transporte.....	123
Cuadro 50. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 1.....	144
Cuadro 51. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 8.....	145
Cuadro 52. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 16.....	146
Cuadro 53. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 19.....	148
Cuadro 54. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 20.....	149
Cuadro 55. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 24.....	150
Cuadro 56. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 27.....	151
Cuadro 57. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 28.....	152
Cuadro 58. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 29.....	154
Cuadro 59. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 31.....	155
Cuadro 60. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 32.....	156
Cuadro 61. Características de las cuñas formadas en el tramo 33 por la intersección de las familias de discontinuidades	157
Cuadro 62. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 33.....	158

1. TÍTULO

LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA., UBICADA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA DE AZUAY.

2. RESUMEN

Este trabajo detalla información sobre las características topográficas, geológicas y estructurales a nivel superficial y subterráneo así como propiedades geomecánicas de la galería principal de transporte de la mina de la Compañía Minervilla, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

La primera fase comprendió la recopilación de información secundaria acerca de la geología del sector y su posterior corroboración en el campo mediante un mapeo geológico superficial sobre una base topográfica facilitada por el personal técnico de la empresa. Seguidamente se actualizó la topografía subterránea, se determinaron y ubicaron los diferentes tipos de roca encontrados así como las principales estructuras. De este levantamiento se pudo determinar que en el área predominan los basaltos, cuya textura es afanítica y su estructura masiva, aunque en dos puntos de la galería principal de transporte se presentan estructuras tipo pillow lavas.

Además, se han mapeado seis cuerpos de composición diorítica a dacítica, los cuales corresponderían a diques. En cuanto a las estructuras encontradas, se presentan fallas, vetas y vetillas cuya dirección tendencial es NW – SE.

Una vez obtenida la geología superficial y subterránea se centró el estudio en la galería principal de transporte, dividiéndola en 34 tramos para la determinación de la calidad del macizo rocoso mediante la obtención del índice RMR según la clasificación geomecánica de Bieniawski, 1989, en donde se obtuvo que el macizo comprende tramos de mala, media y buena calidad.

En cada tramo se realizaron varias mediciones de las diaclasas para su posterior análisis en el software DIPS 6.0, determinando las zonas inestables mediante la formación de cuñas tetraedrales, dando como resultado que en 12 tramos se cumplen las condiciones para la formación de éstas cuñas. Para tener una visión más clara y tridimensional del estado y disposición de cada tramo en donde se forman cuñas tetraedrales, se empleó el software Unwedge 3.0 aplicando el criterio de Barton – Bandis ya que considera propiedades importantes de las diaclasas como son el JRC, JCS y ϕ .

3. ABSTRACT

This work details information about topographical, geological and structural characteristics at the surface and underground level as well as geomechanical properties of the main transport gallery of the mine of Minervilla Company, located in Camilo Ponce Enríquez canton, Azuay province.

The first phase involved the collection of secondary information about the geology of the sector and its subsequent corroboration in the field through a superficial geological mapping on a topographic base provided by the technical staff of the company. Subsequently the underground topography was updated, the different rock types found as well as the main structures were determined and located. From this survey it was possible to determine that basalts predominate the area, whose texture is aphanitic and massive structure, although at two points of the main transport gallery there are pillow lava structures.

Furthermore, six bodies of dioritic to dacitic composition have been mapped, which would correspond to dykes. As for the structures found, there are faults, veins and veinlets whose trend direction is NW - SE.

Once the superficial and underground geology was obtained, the study was focused on the main transport gallery, dividing it into 34 sections for the determination of the rock mass quality through obtaining the RMR index according to the geomechanical classification of Bieniawski, 1989, wherein it was obtained that the rock mass comprises stretches of poor, fair and good quality.

In each section several measurements of the joints were made for later analysis in the DIPS 6.0 software, determining the unstable zones by the formation of tetrahedral wedges, the results show that, in 12 sections the conditions for the formation of these wedges are met. In order to have a clearer and three-dimensional view of the state and disposition of each section wherein tetrahedral wedges are formed, the Unwedge 3.0 software was used applying the Barton - Bandis criterion as it considers important properties of the joints such as the JRC, JCS and σ_r .

4. INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica del Ecuador y sus condiciones geológicas hacen que el país se constituya en un sector privilegiado no solo por la biodiversidad con la que cuenta, sino también por la presencia de yacimientos minerales metálicos y no metálicos que se pueden encontrar en el territorio, es por ello que desde la antigüedad se ha desarrollado actividades mineras, sin embargo, hasta el momento se tiene que la mayor actividad minera desarrollada lo constituye aquella categorizada como minería artesanal y pequeña minería, no obstante, el país apunta a la industrialización de la minería y para ello cuenta con varios proyectos para su explotación.

Frente a la necesidad de ir recabando información sustancial para un mejor proceso de actividades mineras, se ha desarrollado el presente trabajo de titulación el cual comprende el levantamiento geológico estructural a nivel superficial y subterráneo del área de trabajo de la Compañía Minervilla, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez de la provincia del Azuay, la cual se categoriza como pequeña minería y se encuentra en fase de exploración y explotación simultáneamente.

En primera instancia se ha desarrollado el mapeo superficial de las litologías y las estructuras presentes, lo que ha permitido presentar el mapa geológico superficial a escala 1: 3500, el mismo que se ha desarrollado en base a datos tomados durante el recorrido del área, en donde se ha podido identificar varias vetillas especialmente en el río Villa y las quebradas afluentes, además cuenta con información complementaria sobre del pórfido Gaby, presentado en la obra Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador. Depósitos porfídicos y epi-mesotermales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real Volumen 4, del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) en el año 2000.

Luego de determinar la geología superficial, se prosigue con mayor énfasis a la parte subterránea, específicamente en la galería principal de transporte, en donde se describe como primer punto la geología y las estructuras presentes, tomando muestras de roca para su descripción macroscópica y microscópica, así como muestras de mineral para su descripción macroscópica. Posterior a ello se ha llevado a cabo la caracterización del macizo rocoso según Bieniawski, 1989 y a partir de éste se ha obtenido el índice GSI, para ello se ha dividido a la galería en 34 tramos.

Finalmente se presenta un análisis cinemático el cual permite a partir de los datos tomados en campo, determinar zonas en donde existe la formación de cuñas tetraedrales y los sectores en que éstas se tornan inestables, empleando para ello el software Dips 6.0 y el Unwedge 3.0.

Los software mencionados, han permitido interpretar los resultados de campo para modelar y determinar el tipo de sostenimiento adecuado para cada sector caracterizado a fin de obtener un Factor de Seguridad que garantice la estabilidad de la labor minera y evite los riesgos que puedan alterar la producción normal de la mina. Al culminar este trabajo se ha podido presentar resultados que se constituyen en una valiosa contribución a la Compañía Minervilla ya que el aporte técnico presentado detalla la parte geológica – estructural del área y sirve para la toma de decisiones pertinentes de seguridad en la galería principal de transporte, las cuales involucran un trato adecuado al macizo rocoso para evitar con ello posibles accidentes, principalmente los causados por caída de rocas, que pueden ser causantes de pérdidas económicas e inclusive humanas. Así mismo, sirve como guía para quienes se interesen en estudios de este tipo.

Entre los principales inconvenientes que se tuvo en la parte superficial fue la presencia de exuberante vegetación, misma que pudo haber ocultado estructuras e impedir la visualización de algún evento geológico, cabe recalcar también el difícil acceso a determinados puntos y el grado de meteorización de ciertos afloramientos.

Para cumplir lo descrito anteriormente, se planteó un objetivo general y tres específicos, los mismos que fueron llevados a cabo en cada etapa de este trabajo.

Objetivo General

- Realizar el levantamiento geológico estructural y caracterización geomecánica de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Objetivos Específicos

- Determinar la litología superficial y subterránea del área de trabajo de la Compañía minera Minervilla Cía. Ltda.
- Realizar mediciones in situ de las propiedades estructurales del macizo rocoso de la galería principal de transporte de la mina de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., para la caracterización geomecánica del mismo.
- Efectuar un análisis cinemático del macizo rocoso de la galería principal de transporte para la determinación de zonas inestables lo cual permita formular propuestas técnicas que eviten los riesgos y permita la normal producción de la mina.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Roca

De acuerdo a Pozo, González y Giner (2007), las rocas constituyen la litósfera de nuestro planeta y son el resultado de la evolución de sistemas físico-químicos más o menos complejos, desarrollados por consecuencia directa de la actividad geológica endógena y exógena. Una roca puede definirse como un agregado de minerales, cuya composición y textura es regular dentro de un volumen determinado, y que son geológicamente independientes.

5.2 Petrología y Petrografía

En el año 2013, Huang definió a la petrología como la ciencia que se ocupa de las rocas que están formadas por conjuntos minerales definidos y constituyen la mayor parte de la Tierra. Sostuvo que 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. Por ello, la considera como una parte fundamental de la ciencia geológica que trata, como lo hace, de los materiales terrestres existentes.

Así mismo, señala que la petrografía pone énfasis en la parte puramente descriptiva de la ciencia de las rocas desde los puntos de vista de la textura, de la mineralogía y de la composición química, mientras que la petrogénesis se ocupa del origen de las rocas.

5.3 Mineral y Mineralogía

En el año 1995 la Comisión de Nomenclatura Mineral y Minerales Nuevos de la Asociación Mineralógica Internacional definió a un mineral como un elemento o compuesto químico que normalmente es cristalino y que se ha formado como resultado de procesos geológicos, también se puede definir tal como afirman Klein y Hurlbut:

“Un mineral es un sólido homogéneo por naturaleza con una composición química definida (pero generalmente no fija) y una disposición atómica ordenada. Normalmente se forma mediante un proceso inorgánico” (Klein y Hurlbut, 2006, p.2).

Klein y Hurlbut (2006) definen: “La mineralogía es el estudio de las sustancias cristalinas que se encuentran en la naturaleza, es decir los minerales.” (p.2).

5.4 Topografía

Pérez (2010) afirma que:

La topografía es una ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la superficie de la tierra y debajo de la misma, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: distancia, elevación y dirección. La topografía explica los procedimientos y operaciones del trabajo de campo, los métodos de cálculo o procesamiento de datos y la representación del terreno en un plano o dibujo topográfico a escala. (p.35)

Torres y Villate (2000), mencionan que la topografía tiene por objeto medir extensiones de tierra, tomando los datos necesarios para poder representar sobre un plano, a escala, su forma y accidentes.

Además consideran que es el arte de medir las distancias horizontales y verticales entre puntos y objetos sobre la superficie terrestre, medir ángulos entre rectas terrestres y localizar puntos por medio de distancias y ángulos previamente determinados.

Una vez que el topógrafo ha recolectado los datos necesarios en el campo, emplea procedimientos matemáticos a partir de los cuales se calculan distancias, ángulos, direcciones, coordenadas, elevaciones, áreas o volúmenes, según lo requerido en cada caso.

Los autores citados recalcan la importancia de la topografía ya que sirve como base para la mayor parte de los trabajos de ingeniería, pues la elaboración de un proyecto se hace una vez que se tengan los datos y planos topográficos que representan fielmente todos los accidentes del terreno sobre el cual se va a construir la obra (Torres y Villate, 2000).

5.4.1 Topografía subterránea

Ferrer (1987) hace mención que el levantamiento topográfico en excavaciones mineras tiene entre sus objetivos principales la obtención de datos necesarios para la documentación gráfica de los trabajos subterráneos, el control de los trabajos mineros, el cálculo de la pérdida y el empobrecimiento del mineral extraído. Mediante esto es posible controlar la ejecución de algunos trabajos mineros como son: los pasaportes de fortificación de las excavaciones preparatorias y de arranque, la observación de situación de las diferentes rocas próximas a las excavaciones mineras, etc.

(Estruch y Tapia, 2006) sostienen que la topografía subterránea es muy distinta a la superficial, esto debido a las condiciones de trabajo en el subsuelo: galerías profundas, angostas, mal iluminadas, húmedas y no bien ventiladas hacen que los métodos e instrumentos utilizados en la superficie no puedan ser utilizados sin una adaptación especial. En el interior de las minas es muy fácil desorientarse cuando no se ha adquirido una práctica en trabajos de interior y está demostrado que un técnico no especializado en levantamientos topográficos subterráneos se desorienta con suma facilidad y le resulta muy difícil la realización de las operaciones topográficas en galerías, túneles o en las explotaciones del interior de las minas.

5.5 Geología

Meléndez y Fúster (1981) definen a la geología como la ciencia que estudia la Tierra; su composición, su estructura, los fenómenos de toda índole que en ella tienen lugar y su pasado, mediante los documentos que de él han quedado en las rocas. Los mismos autores mencionan que no es una ciencia meramente descriptiva, sino que en cada caso busca el porqué de los fenómenos observados, su mutua dependencia, las leyes que los rigen y el encadenamiento de hechos que constituyen la Historia de la Tierra.

Tarbuck, Lutgens y Tasa (2005) en la obra Ciencias de la Tierra: Una introducción a la Geología Física, indican que la ciencia de la Geología se ha dividido en dos áreas; la física y la histórica, describiendo a la Geología física por el estudio de los materiales que componen la tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. En cambio, señalan que el objetivo de la Geología histórica es comprender el origen de la Tierra y su evolución a lo largo del tiempo, por ende, procura ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasado geológico. El estudio de la Geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la Tierra, porque, antes de intentar revelar su pasado, debemos comprender primero cómo funciona la Tierra.

5.5.1 Geología estructural

Una de las ramas importantes de la Geología es la Geología Estructural, la cual a decir de Irondo (2007), estudia las propiedades físicas de las rocas y sedimentos, sus deformaciones y fracturas y la mecánica de las fuerzas que actúan sobre ellas.

El mismo autor sostiene que la corteza terrestre está sometida a un complejo sistema de tensiones provocado por el movimiento de las placas de la litósfera, 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 naturaleza de las rocas, las presiones y temperatura a que están sometidas son muy importantes para determinar la forma en que éstas responden a los esfuerzos, también depende de la duración de las tensiones entre otros factores.

De Sitter (1976), menciona que la relación entre la geología estructural y la geología de los depósitos minerales económicamente explotables es asunto de “control estructural”, ya que la distribución del mineral se relaciona con las estructuras. El control estructural de las menas magmáticas, hidrotermales, neumatolíticas u otros modos de deposición, es mucho más complicado. En primer lugar las actividades magmáticas que producen el mineral son casi inevitablemente de origen orogénico. El segundo lugar, la roca encajante puede haber sido preparada para recibir la mineralización por fuerzas orogénicas, por despedazamiento de la roca o por creación de zonas de mínimo esfuerzo, tensión o fractura, donde pueden penetrar agentes mineralizantes.

En tercer lugar afirma que los sistemas de fallas que por sí mismo son también expresión del campo de fuerzas al cual ha sido sometida la roca, pueden actuar de varias formas como conductos para los cuerpos mineralizados. Además, en la distribución de los yacimientos juega un papel fundamental la deformación estructural después de la mineralización.

5.5.1.1 Discontinuidades

Gavilanes y Andrade (2004, p.32) citan a Salcedo (1988) quien las definió como superficies de debilidad que imparten en la roca una condición de anisotropía de resistencia, es decir, denotan una interrupción en la integridad mecánica de la roca. Con fines descriptivos se utiliza el término genérico, discontinuidad, con el objeto de referirse indistintamente a diaclasas, fallas, foliaciones y estratificaciones.

Una de las características importantes de las superficies o planos de discontinuidad de los macizos rocosos, según González de Vallejo, Ferrer, Otuño y Oteo (2002), es que condicionan de una forma definitiva sus propiedades y comportamiento resistente, deformable e hidráulico.

“Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisotrópico a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles, lo que supone una gran dificultad para evaluar el comportamiento mecánico de los mismos frente a las obras de ingeniería” (González de Vallejo et al., 2002, p. 176).

González de Vallejo et al. (2002) refieren que el reconocimiento de las discontinuidades, su descripción y caracterización es fundamental en el estudio del macizo rocoso, especialmente para entender su comportamiento mecánico e hidrogeológico ya que éstas representan planos preferentes de alteración, meteorización y fractura y permiten el flujo de agua.

- **Tipos de discontinuidades**

Son varios los tipos de discontinuidades que se presenta en campo y es fundamental su correcta identificación. “El término discontinuidad hace referencia a cualquier plano de separación en el macizo rocoso, pudiendo tener origen sedimentario, como las superficies de estratificación o laminación, diagenético o tectónico, como las diaclasas o las fallas” (González de Vallejo et al., 2002, p. 178).

Fracturas

Gavilanes y Andrade (2004) define: “Es el término general para cualquier discontinuidad mecánica en la roca, tales como diaclasas, fallas, grietas, fisuras” (p.32).

Diaclasas o juntas

Para Gavilanes y Andrade (2004), una diaclasa es definida como un plano de discontinuidad, de fractura o de separación de la roca, que normalmente no implica desplazamiento y que suelen producirse como familias paralelas, que dividen al macizo rocoso en bloques. Estos mismos autores también citan a la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISMR (1981) quien define una diaclasa como: “un quiebre o fractura de origen geológico en la continuidad de la roca, a lo largo de la cual no ha habido desplazamiento visible”.

Un conjunto de diaclasas paralelas se denomina set o familia y la intersección de familias de diaclasas de diaclasas forman sistemas. La Fig. 1., representa tres familias de discontinuidades. Las diaclasas paralelas a planos de estratificación o foliación, se denominan diaclasas de estratificación o de foliación. (Gavilanes y Andrade, 2004).

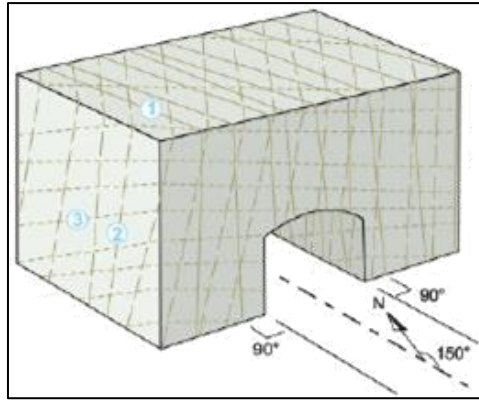


Figura 1. Representación de las familias de discontinuidades mediante un bloque de diagrama.

Fuente. González de Vallejo, L., Ferrer, M., Otuño L. y Oteo, C. (2002). Ingeniería Geológica.

Planos de estratificación

Para Gavilanes y Andrade (2004), se constituye en una superficie característica de rocas sedimentarias que separa capas de igual o diferente litología, ver Fig. 2. Estas superficies también pueden estar presentes en rocas que se hayan originado por metamorfismo de rocas sedimentarias. “Se trata de discontinuidades sistemáticas con una continuidad elevada y cuyo espaciado oscila generalmente entre unos pocos centímetros y varios metros” (González de Vallejo et al., 2002, p. 178).



Figura 2. Superficies de estratificación horizontales de gran continuidad en macizo rocoso calizo.

Fuente. González de Vallejo, L., et al. (2002). Ingeniería Geológica.

Superficies de laminación

Según González de Vallejo et al. (2002) “Son discontinuidades sistemáticas que aparecen en las rocas sedimentarias, correspondiendo a los planos que limitan las láminas o los niveles megascópicos más pequeños de una secuencia sedimentaria” (pp. 178, 179). La Fig. 3., muestra superficies de laminación en yesos.

El mismo autor señala que estas superficies adquieren mayor importancia en las rocas de grano fino y se caracterizan por un espaciado muy reducido, de orden milimétrico o centimétrico (González de Vallejo et al., 2002, p. 179).



Figura 3. Superficies de laminación en yesos.

Fuente. González de Vallejo, L., et al. (2002). *Ingeniería Geológica*.

Foliación o esquistosidad

Son superficies penetrativas, desarrolladas por orientación de minerales durante el metamorfismo, perpendiculares a la dirección de la tensión máxima. Es una estructura visible en ciertas rocas metamórficas, en que a la esquistosidad se suma una diferenciación petrográfica entre lechos, formando hojas. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.33)

Fallas

Gavilanes y Andrade (2004) definen: Son fracturas de la corteza terrestre a lo largo de las cuales ha habido un desplazamiento paralelo a la superficie de la fractura. Lo que se observa es que una pared de la fractura se ha movido en relación con la otra. La superficie de fractura en la que se rechazó el desplazamiento se llama plano de falla. Como resultado de la fricción entre bloques, el plano de falla es suavizado y constituye una superficie llamada espejo de falla. (p.33)

Por otra parte, González de Vallejo et al. (2002) afirman: “La extensión de las fallas puede variar entre algunos metros y centenares de kilómetros. Pueden llevar asociadas zonas de debilidad denominadas zonas de falla o brechas, en las que en ocasiones no se puede distinguir un plano neto de rotura” (pp. 179, 180).

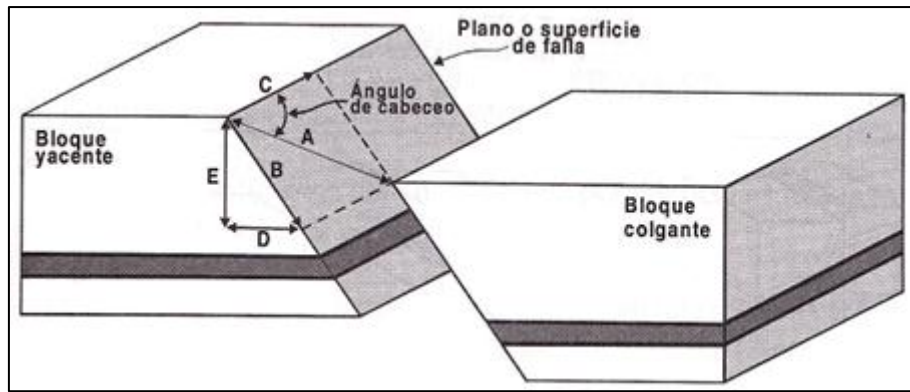


Figura 4. Elementos de fallas. Falla de traslación con desplazamiento oblicuo, donde: A=desplazamiento neto, B=desplazamiento de buzamiento, C=desplazamiento de rumbo, D=desplazamiento horizontal o rechazo, E=desplazamiento vertical o salto.

Fuente. Camargo, J. A. (2004). *Manual de Geología Estructural*. Bogotá, Colombia

- **Descripción de las discontinuidades**

En la descripción de las diferentes familias de discontinuidades en un macizo rocoso se incluyen características y parámetros geométricos: orientación, espaciado, continuidad o persistencia, rugosidad, abertura, relleno, filtraciones y resistencia de las paredes. Algunos de ellos, como la rugosidad, abertura, relleno y resistencia de las paredes, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia de los planos de discontinuidad. (González de Vallejo et al., 2002, p.180)

Orientación

Ragan (1980) define: “Término que describe la posición de un plano o línea estructural en el espacio, por lo general relacionado con coordenadas geográficas y con la horizontal. Son componentes de la orientación tanto el rumbo como la inclinación” (p.1).

“Rumbo: ángulo horizontal, medido entre una línea y la dirección norte – sur de un sistema de coordenadas geográficas; éste ángulo adquiere valores de 0° a 90° ” (Camargo, 2004, p. 27).

“Inclinación: ángulo vertical medido entre la horizontal y un plano inclinado; éste ángulo se mide hacia abajo y varía entre 0° y 90° ” (Camargo, 2004, p. 27).

“Acimut: ángulo horizontal entre la línea y la dirección norte de un sistema de coordenadas geográficas, barrido en dirección de las manecillas del reloj; este ángulo toma valores entre 0° y 360° ” (Camargo, 2004, p. 28).

Dirección de capa: Rumbo de una línea horizontal en un plano inclinado.

“Buzamiento: Inclinación de la línea de máxima pendiente de un plano inclinado. Se mide perpendicular a la dirección” (Ragan, 1980, p.1).

“Buzamiento aparente: Inclinación de un plano medida en una dirección no perpendicular a la dirección del plano” (Ragan, 1980, p.1).

En la Fig. 5 se puede apreciar las principales medidas de orientación de las discontinuidades.

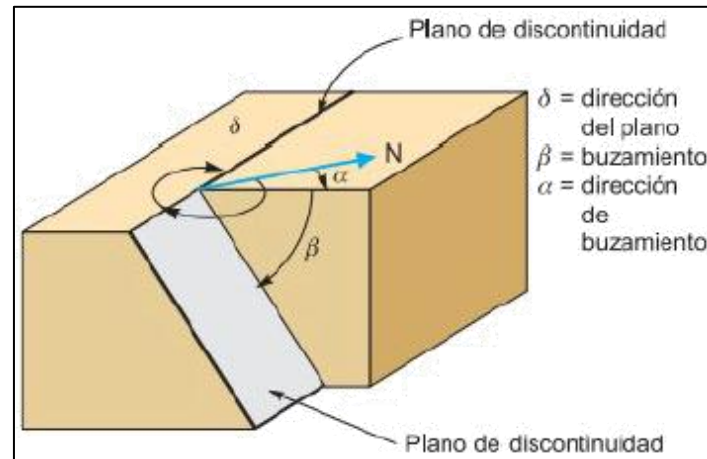


Figura 5. Medida de orientación de discontinuidades.

Fuente. González de Vallejo, L., et al. (2002). *Ingeniería Geológica*.

Espaciado

El espaciado de las juntas afirman Gavilanes y Andrade (2004) que es la distancia perpendicular entre discontinuidades de un mismo set o familia, el espaciado de discontinuidades adyacentes controla el tamaño de bloques individuales de roca intacta, la permeabilidad del macizo rocoso y la circulación de agua. En la medida que la frecuencia de fracturas es mayor, la cohesión global del macizo es menor. (p.37)

Recomiendan además que “En general la longitud de muestreo debe ser preferentemente mayor que 10 veces el espaciado medido” (Gavilanes y Andrade, 2004, p. 37).

La medición del espaciado se la realiza como se muestra en la Fig. 6, la cual muestra la medida del espaciado en una cara expuesta de un afloramiento.

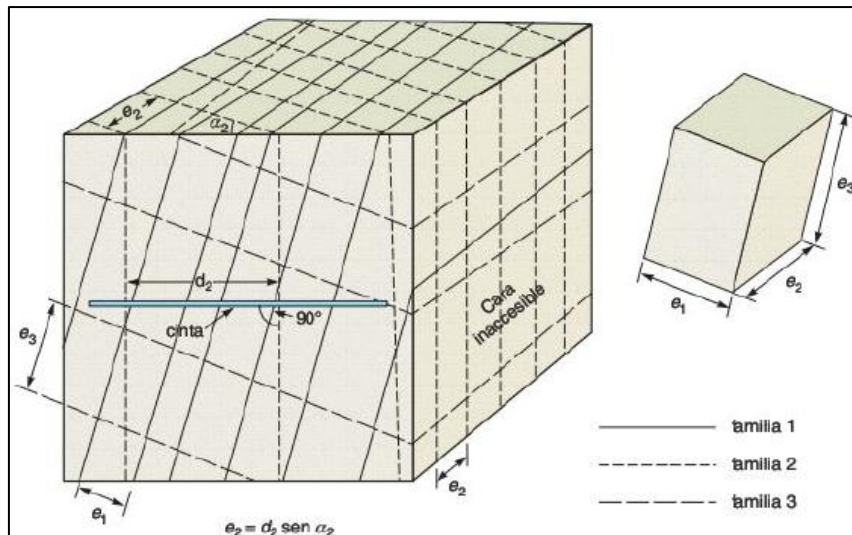


Figura 6. Medida del espaciado en una cara expuesta del afloramiento (ISRM, 1981).

Fuente. González de Vallejo, L., et al. (2002). *Ingeniería Geológica*.

Continuidad o persistencia

Hace referencia a la extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento, se la considera de gran importancia, sin embargo su cuantificación en los afloramientos resulta dificultosa ya que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente (González de Vallejo et al., 2002).

González de Vallejo et al. (2002), consideran como uno de los parámetros más importantes del macizo rocoso, pero uno de los más difíciles de cuantificar. Por lo general, las discontinuidades singulares, como las fallas y los diques, suelen ser muy continuas y representan los mayores planos de debilidad en el macizo rocoso, por lo que deben ser caracterizadas y descritas con especial atención. En la Tabla 1 se muestra una descripción de las continuidades en función de su longitud.

Tabla 1. Descripción de la continuidad

Persistencia	Longitud
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1 – 3 m
Continuidad media	3 – 10 m
Alta continuidad	10 – 20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: ISRM, 1981

Rugosidad

Este parámetro de las discontinuidades es fundamental y determinante en la resistencia al cizallamiento, su importancia disminuye si la abertura o el espesor del relleno son mayores o si se ha producido un desplazamiento con anterioridad (Gavilanes y Andrade, 2004).

La rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por su ondulación (macro rugosidad) y su aspereza (micro rugosidad). Si los labios de las paredes están en contacto, provocan una expansión cuando tiene lugar un desplazamiento cortante. La aspereza varía cuando se produce un desplazamiento cizallante al romperse los pequeños picos de roca, a menos que la tensión aplicada sea pequeña. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.39)

“La rugosidad puede ser medida en campo con diversos métodos, dependiendo de la exactitud requerida, de la escala de medida o de la accesibilidad al afloramiento, incluyendo desde estimaciones cualitativas hasta medidas cuantitativas” (González de Vallejo et al., 2002, p. 250).

Abertura

Es la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad abierta. Los métodos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISMR) limitan el término abertura a discontinuidades abiertas donde el espacio es aire o agua. Cuando se trata de una discontinuidad abierta y rellena con arcilla, por ejemplo, se utiliza el término ancho. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.44)

Relleno

Ramírez y Alejano (2004) definen: “Se denomina relleno de una discontinuidad al material que ocupa el espacio entre sus labios, por ejemplo: calcita, fluorita, limo, etc. Normalmente el espesor de relleno es igual a la distancia perpendicular entre los labios” (p.195).

La presencia de relleno según González de Vallejo et al. (2002), gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado, teniendo en cuenta, además, que si se trata de materiales blandos o alterados estos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo si varía su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas.

Filtraciones

En los macizos rocosos juega un papel fundamental el agua, por ello, Ramírez y Alejano (2004), identifican dos tipos de permeabilidades, la permeabilidad secundaria que es la que se realiza a lo largo de las discontinuidades, excepto en las rocas sedimentarias con un alto índice de poros, en las cuales se presenta una permeabilidad primaria, es decir el agua circula por la propia roca. Esta permeabilidad necesita que los estratos permeables conecten unos con otros, frecuentemente a través de discontinuidades. La permeabilidad secundaria es más propia de los macizos de rocas ígneas y metamórficas. Por lo que se acaba de exponer, la permeabilidad en los macizos rocosos suele ser muy anisotrópica.

Ramírez y Alejano (2004) clasifican las siguientes posibilidades de descripción de la junta: impermeable (serían discontinuidades cerradas), secas (abiertas o rellenas sin agua), húmeda (abiertas o rellenas con muestras de humedad), goteo y fluencia, cuando el agua fluye como si de un manantial se tratara.

Resistencia de las paredes

La resistencia de las paredes de la discontinuidad es una componente importante de la resistencia al cizallamiento y deformabilidad, especialmente si las paredes están en contacto con la roca, sin relleno. La meteorización generalmente afecta las paredes de las discontinuidades mucho más que en la parte interior de los bloques de roca. En este sentido, es evidente que el estado de meteorización o alteración es una parte esencial de la descripción de la resistencia de las paredes de las discontinuidades. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.43)

Los autores citados anteriormente mencionan que existen dos procedimientos para caracterizar la resistencia de las paredes de una discontinuidad: Prueba con el Martillo de Schmidt; con la cual se determina la dureza al rebote de la roca intacta y Pruebas Índices Manuales; las cuales describen desde arcilla muy blanda hasta roca extremadamente resistente.

5.5.2 Clasificaciones Geomecánicas

Aportan mediante la obtención directa de las características de los macizos rocosos y la realización de sencillos ensayos, índices de calidad relacionados con los parámetros geomecánicos del macizo y sus características frente a los sostenimientos de túneles y taludes y la excavabilidad de las rocas, entre otros. (González de Vallejo et al., 2002, p.229)

El objetivo de las clasificaciones geomecánicas, según Gavilanes y Andrade (2004) es evaluar las propiedades de un macizo rocoso, establecer su calidad cuantitativamente y poder predecir de alguna manera lo siguiente:

- El comportamiento del macizo frente a la excavación programada.
- El tipo de sostenimiento.
- Y obtener de manera aproximada (empírica) el rango de variación de las propiedades geotécnicas del macizo rocoso como son el ángulo de fricción interna y la cohesión.

“De los tantos sistemas de clasificación en existencia, siete requieren una especial atención debido a que son más utilizados y tienen relevancia histórica, éstos son: Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere (1967), Wickman (1972), Bieniawski (1973), Barton (1974) y Lauschber (1977)” (Gavilanes y Andrade, 2004, p.64).

5.5.2.1 Clasificación Geomecánica de Bieniawski (RMR)

“Desarrollada por Bieniawski en 1973, con actualizaciones en 1979 y 1989, 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, p.230).

Esta clasificación se basa en la medición de los siguientes parámetros geomecánicos:

- Resistencia uniaxial de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en término del RQD.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.
- Orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación.

Estos parámetros descritos son determinantes ya que tienen influencia directa en el comportamiento geomecánico del macizo y son representados mediante el índice de calidad RMR, rock mass rating, el mismo que varía de 1 a 100.

Para aplicar la clasificación RMR se divide al macizo rocoso en zonas o tramos que presenten características geológicas más o menos uniformes de acuerdo con las observaciones hechas en campo, en las que se lleva a cabo la toma de datos y medidas referentes a las propiedades y características de la matriz rocosa y de las discontinuidades (González de Vallejo, et al. 2002, p.230).

Gavilanes y Andrade (2004) especifican que para aplicar la clasificación Geomecánica se debe realizar lo siguiente:

Dividir el macizo en dominios estructurales (zonas de características geológicas similares como tipo de roca, espaciado, etc.). En la mayoría de los casos, los límites de las regiones estructurales coincidirán con características geológicas mayores, tales como fallas, diques, contactos, etc.

Después de que las regiones estructurales han sido identificadas, los parámetros de clasificación para cada región estructural son determinadas de las medidas en el campo y colocadas en una hoja de datos.

Se analizan la importancia de los valores que están asignados para cada parámetro de la sección A del Cuadro 1.

Al respecto, el promedio de condiciones típicas, es evaluado para cada set de discontinuidades y los valores son interpolados utilizando las curvas empleadas en las Figuras 7, 8 y 9.

Se debe señalar que la importancia de la valoración se dio para el espaciado entre discontinuidades, aplicado a macizos rocosos que tienen tres sets de discontinuidades. Es decir, cuando solo dos familias de discontinuidades están presentes, se obtiene un valor conservativo y la valoración para el espaciado entre discontinuidades puede incrementarse en un 30 %.

Luego de analizar cada uno de los parámetros, sumamos sus valores y obtenemos el RMR básico.

El siguiente paso es incluir el sexto parámetro, denominado, influencia del rumbo y buzamiento de las discontinuidades, para ajustar el RMR básico, de acuerdo con la sección B del Cuadro 1. Este paso se trata separadamente porque la influencia de la orientación de las discontinuidades depende de las aplicaciones ingenieriles, tales como túneles, minas, taludes o cimentaciones. Los valores de este parámetro son cualitativos.

Para ayudar a decidir si el rumbo y el buzamiento son favorables o no en tuneleo, debemos referirnos a la sección F del Cuadro 1, la cual está basada en estudios hechos por Wickham (1972).

El parámetro “orientación de las discontinuidades”, se refleja en el significado de los varios sets de discontinuidades presentes en un macizo rocoso. El set principal, usualmente designado como Set N° 1, controla la estabilidad de una excavación; por ejemplo en túneles será el set cuyo rumbo sea paralelo a su eje. La sumatoria de la valoración de los parámetros de clasificación para este set de discontinuidades constituirá el RMR. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.78)

De otra manera, en situaciones donde no hay un set de discontinuidades dominante y de importancia crítica, o cuando se estime la resistencia y deformación del macizo rocoso, los valores para cada set de discontinuidades serán promediados para obtener la apropiada clasificación individual de cada parámetro. (Gavilanes y Andrade, 2004, p.78)

En el Cuadro 1, se muestran los parámetros considerados para la clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

Cuadro 1. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

A. Parámetros de clasificación con sus valores									
Parámetros			Rango de Valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (Is)	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	<1 MPa
	Puntaje		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Puntaje		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Puntaje		20	15	10	8	5		
4	Condición de las discontinuidades (ver E)		Superficies muy rugosas, sin continuidad, sin separación, paredes de rocas sin alteración.	Superficies rugosas, con separación < 1mm. Paredes de roca ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1mm. Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5 mm de espesura o separación 1-5 mm. Continuas.	Relleno blando > 5 mm de espesor. Separación > 5 mm. Continuas.		
	Puntaje		30	25	20	10	0		
5	Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (l/min).	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Presión de agua en la diacl.)/(Tensión principal mayor σ_1)	0	<0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
	Condiciones Generales		Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
	Puntaje		15	10	7	4	0		
B. Ajuste la orientación de las discontinuidades									
Orientaciones del rumbo y buzamiento.			Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable		
Puntaje	Túneles y Minas		0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones		0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes		0	-5	-25	-50	-60		
C. Tipos de macizos rocosos determinados a partir de la valuación total									
Puntaje	100-81	80-61	60-41	40-21	<21				
Tipos de Roca	I	II	III	IV	V				
Descripción	Muy buena	Buena	Regular	Mala	Muy mala				
D. Significado de los tipos de roca									
Tipo de Roca	I	II	III	IV	V				
Tiempo medio de sostén	20 años, claro de 15 m-	1 año, claro de 10 m.	1 semana, claro de 5 m	10 horas, claro de 2,5 m	30 min, claro de 1 m				
Cohesión del macizo rocoso (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100				
Angulo de fricción del macizo rocoso (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15				
E. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades									
Longitud (Persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m				
Puntaje	6	4	2	1	0				
Separación (apertura)	Ninguna	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm				
Puntaje	6	5	4	1	0				
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Superficies pulidas				
Puntaje	6	5	3	1	0				
Relleno	Ninguno	Duro < 5 mm	Duro > 5 mm	Blando < 5 mm	Blando > 5 mm				
Puntaje	6	4	2	2	0				
Meteorización	Inalterada	Ligeramente meteorizada	Modernamente meteorizada	Altamente meteorizada	Descompuesta				
Puntaje	6	5	3	1	0				
F. Efecto de la orientación del rumbo y buzamiento de las discontinuidades en los túneles**									
Rumbo perpendicular al eje del túnel			Rumbo paralelo al eje del túnel						
Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°			Avance en el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°			Buzamiento 45 - 90°		Buzamiento 20 - 45°	
Muy favorable			Favorable			Muy favorable		Regular	
Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 45 - 90°			Avance contra el sentido del buzamiento - Buz. 20 - 45°			Buzamiento 0 - 20° Independiente del rumbo			
Regular			Desfavorable			Regular			

Fuente: Gavilanes y Andrade, 2004.

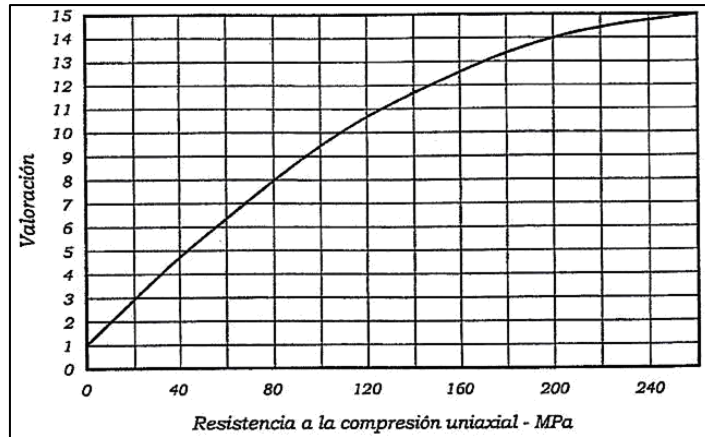


Figura 7. Curva empleada en la determinación de los valores de la Resistencia a la Compresión Uniaxial de la roca.

Fuente. Gavilanes y Andrade, 2004.

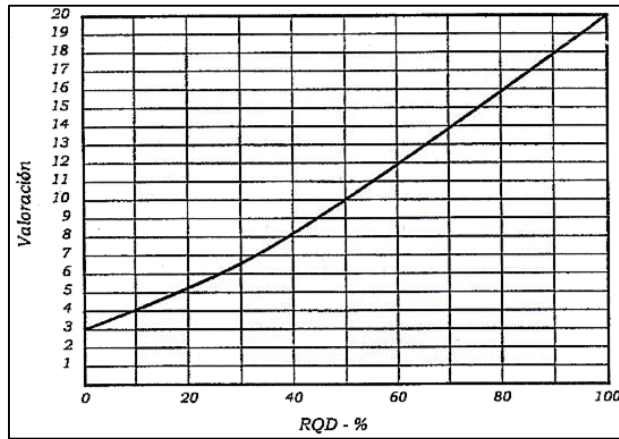


Figura 8. Curva empleada en la determinación de los valores del RQD

Fuente. Gavilanes y Andrade, 2004.

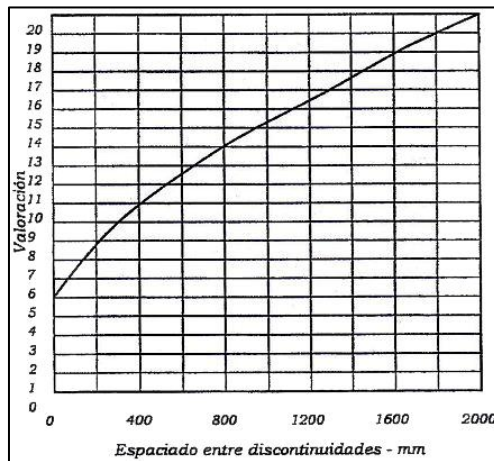


Figura 9. Curva empleada en la determinación del puntaje del espaciado de discontinuidades.

Fuente. Gavilanes y Andrade, 2004.

5.6 Proyecciones estereográficas

“La proyección estereográfica, es una técnica de mucha utilidad que permite solucionar fácil y rápidamente problemas estructurales, que involucren relaciones angulares entre planos y líneas” (Camargo, 2004, p. 119).

Gavilanes y Andrade (2004) manifiestan que en Geología, especialmente en la Geología Estructural y en el análisis de problemas muy frecuentes de estabilidad de taludes y frentes de túneles en macizos rocosos, es necesario el estudio de las orientaciones de las discontinuidades estructurales predominantes a fin de determinar las posibilidades de desprendimientos de cuñas o bloques de rocas. Para llevar a cabo esta tarea, se recurre al manejo de las proyecciones estereográficas, las cuales permiten visualizar la orientación tridimensional de los planos geológicos en diagramas bidimensionales. Existen dos tipos de proyecciones para construir redes meridionales y polares que son: la de ángulos iguales (equiangular) y la de áreas iguales (equiareal). En la proyección equiangular, es también conocida como proyección de Wulff y la proyección equiareal, también conocida como proyección de Schmidt o de Lambert.

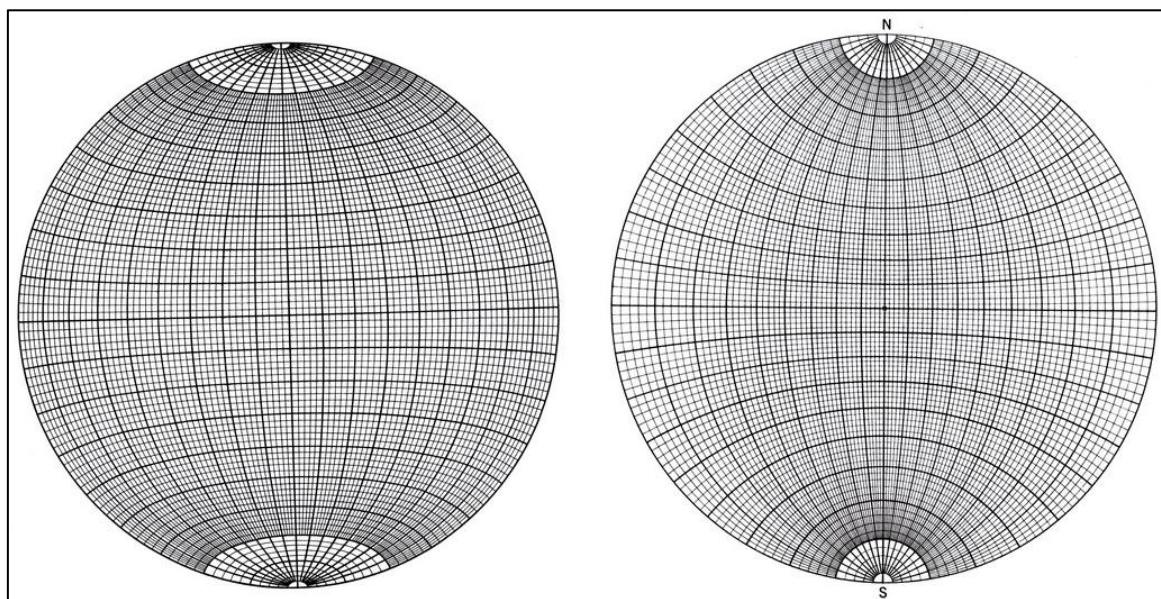


Figura 10. Falsilla de Schmidt a la izquierda y a la derecha Falsilla de Wulff.

Fuente. Departamento de Evolución de Cuencas - Universidad de la República - Uruguay.
<http://cuencas.fcien.edu.uy/>

5.7 Estabilidad a distintas profundidades

En el año 1991, Ramírez, De la Cuadra, Laín y Grijalbo consideraron que cuando se trata de un macizo rocoso formado a base de bloques, los problemas de estabilidad en obras subterráneas a poca profundidad surgen únicamente como consecuencia de fenómenos de caída de bloques o cuñas del techo y de sus paramentos. La caída de bloques es debida a la gravedad, es decir, al peso del bloque en cuestión; además estas caídas se ven influenciadas por las tensiones existentes "in situ". A pequeña profundidad, estas tensiones se pueden despreciar y las caídas de los bloques dependen de la geometría y tamaño de la excavación así como de la estructura del macizo rocoso.

Si se realiza la excavación en roca sana con pocas juntas, no se presentan grandes problemas de estabilidad, sobre todo si las tensiones alrededor del hueco excavado son inferiores a la quinta parte de la resistencia a compresión de la roca. En estas condiciones, se pueden realizar grandes huecos en el macizo rocoso sin sostenimiento. Sin embargo, según va aumentando la profundidad a la que se realiza la excavación, las tensiones alrededor del hueco aumentan, llegándose a situaciones inestables en las que se pueden producir roturas de la roca en forma de pequeñas lascas, al principio, llegándose a roturas explosivas a más profundidad. (Ramírez et al., 1991, pp.324, 325)

5.8 Roturas dependientes de la estructura

5.8.1 Caída de cuñas del techo

Según Ramírez et al., (1991), para la formación de un bloque inestable que pueda caer al interior de la excavación, deben existir al menos tres planos de discontinuidad, a los cuales se puede aplicar la proyección estereográfica para determinar la estabilidad de una cuña situada en el techo de la excavación. Ramírez et al. (1991) se refieren a dos posibilidades de caída de cuñas: Cuando la cuña cae sin deslizamiento; la cual es producida cuando la vertical trazada desde el vértice de la cuña corta al techo en un punto que cae dentro de la base de la cuña. La segunda posibilidad es si dicho punto se sitúa fuera de la base de la cuña, la cual caerá deslizando sobre uno de sus planos o sobre la línea de intersección entre dos planos. En ambos casos, la proyección estereográfica de la línea vertical que pasa por el vértice de la cuña está representada por el centro de la red.

Para que la cuña caiga por gravedad, sin deslizamiento, el área comprendida entre los 3 arcos de círculo máximo que representan los planos de la cuña en proyección estereográfica, debe incluir el centro de la red como se muestra en la Figura 11.

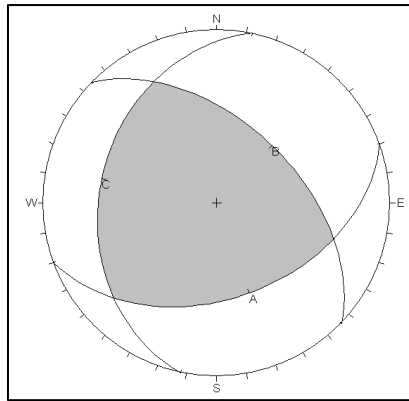


Figura 11. Caída libre de una cuña en una excavación subterránea.

Fuente. Modificado de Ramírez, De la Cuadra, Laín y Grijalbo (1991). Manual de rocas aplicada a la minería metálica subterránea.

“Cuando no tiene lugar la condición anterior, la cuña podrá caer por gravedad y deslizando, por lo menos, sobre uno de sus planos o a lo largo de la línea de intersección de dos planos” (Ramírez et al., 1991, p.325). En la Figura 12 se representa este caso en proyección estereográfica.

El hecho de que la cuña caiga o no, depende de la inclinación del plano o de la línea de intersección de los planos sobre los que se produce el deslizamiento. Si esta inclinación es mayor que el ángulo de fricción se producirá la caída de la cuña por deslizamiento (Ramírez et al., 1991, p.325).

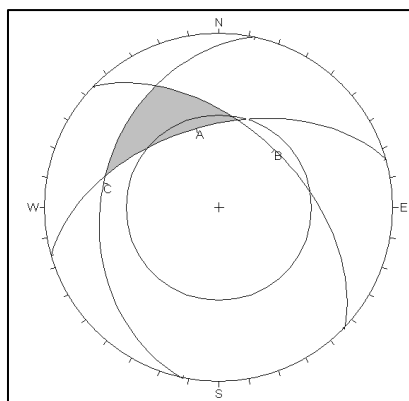


Figura 12. Caída de una cuña por deslizamiento en una excavación subterránea.

Fuente. Modificado de Ramírez, et al., (1991). Manual de rocas aplicada a la minería metálica subterránea.

“La condición de no deslizamiento en proyección estereográfica queda satisfecha cuando los tres arcos de círculo máximo que representan los planos de la cuña, caen fuera de un círculo obtenido llevando el ángulo ϕ desde el exterior hacia el centro de la red estereográfica” (Ramírez et al., 1991, p.325). Esta condición se puede ver en la Figura 13, en este caso la cuña es estable.

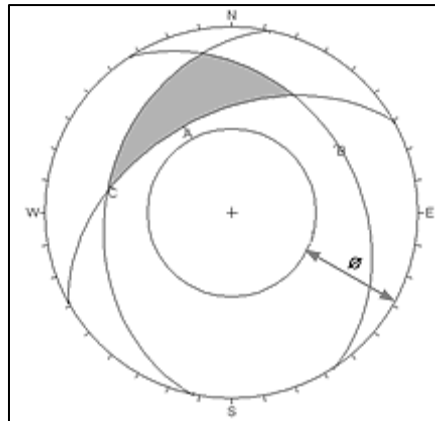


Figura 13. Representación estereográfica de una cuña estable en una excavación subterránea.

Fuente. Modificado de Ramírez, et al., (1991). Manual de rocas aplicada a la minería metálica subterránea.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Materiales

6.1.1 Materiales de campo

- GPS Garmin GPSMAP 64st
- Brújula tipo Brunton
- Martillo de geólogo
- Cinta métrica y flexómetro
- Martillo Schmidt
- Cámara fotográfica
- Formatos para la toma de datos estructurales
- Hojas de papel milimetrado
- Ácido Clorhídrico
- Lápiz, borrador y libreta de campo

6.1.2 Equipos de oficina

- Computadora laptop
- Impresora
- Flash memory

6.1.3 Software empleados

- ArcGis 10.3
- AutoCad 2015
- Dips 6.0
- Unwedge 3.0

6.2 Metodología

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se han seguido los procedimientos que se detallan en los párrafos siguientes.

6.2.1 Primer objetivo

Determinar la litología superficial y subterránea del área de trabajo de la Compañía minera Minervilla Cía. Ltda.

6.2.1.1 Trabajo de gabinete

Se procedió a recopilar información de fuentes secundarias relacionada a la geología del sector, entre los principales documentos guía utilizados se encuentran la obra Evaluación de distritos mineros en el Ecuador: Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real Vol. 4 del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (Prodeminca) del año 2000, además de documentos como la carta geológica de Machala a escala 1:100000, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Camilo Ponce Enríquez, fase de actualización 2014 – 2015 y los informes de Cordillera Occidental del año 1997, específicamente el Reporte N° 1, presentado por Pratt Warren, Figueroa Juan & Flores Bolívar en la obra Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00' and 4°00'S, así como el Reporte N° 2 presentado por Dunkley Peter & Gaibor Alina en la obra Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°00' and 3°00'S y el 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.

Seguidamente se procedió a la obtención de la topografía superficial y subterránea del área de estudio, la cual fue facilitada por el personal técnico de Minervilla Cía. Ltda. Las curvas de nivel de la topografía superficial se presentan a intervalos de dos metros; esta topografía permitió realizar el mapeo geológico superficial. En cuanto al levantamiento subterráneo, éste fue actualizado durante el desarrollo del presente trabajo.

Además en esta fase se prepararon los diferentes formatos empleados en la descripción de afloramientos y caracterización del macizo rocoso en subterráneo. En cuanto a los formatos para descripción de afloramientos se recopilaron datos de otras fichas empleadas en tesis como la de Valarezo Marco, 2015, p. 72 y la de Medina José, 2014, p. 81. Además se emplearon parámetros planteados por González de Vallejo Luis, et al (2002). La Figura 14 muestra el formato empleado para la descripción de afloramientos en el presente trabajo.



		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA						
		INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL						
		FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS						
PROYECTO								
Código de Afloramiento		Responsable				GÉNESIS		
Sector Referencial			LITOLÓGIA	ÍGNEO	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO		
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y		Z	Plutónica	Foliada	Clásticas	
Tipo afloramiento				Volcánica	No foliada	No clásticas		
Vegetación				Hipoabisal				
Tipo de Estructura			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 raya con martillo ()	
Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()		
Hidrogeología	Sin presencia de agua ()		Seco (con señales de agua) ()		Húmedo ()	Goteo ()	Flujo ()	
FOTO				ESQUEMA				
<u>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA</u>								
<u>OBSERVACIONES</u>								

Figura 14. Ficha empleada para la caracterización de afloramientos

Fuente. Elaboración propia en base a consideraciones de González de Vallejo et al., Valarezo M., y Medina J.

6.2.1.2 Trabajo de campo

Se lo realizó en dos fases: En una primera fase se determinó la geología superficial, mediante la descripción de veintidós afloramientos, tomando datos estructurales y características de las rocas presentes, haciendo una breve descripción macroscópica, para ello se empleó la ficha que se muestra en la Figura 14.

A los puntos de los afloramientos se los ubicó sobre el mapa topográfico, mismos que luego de comparar las diferentes litologías aflorantes permitieron generar el mapa correspondiente a la geología local superficial del área de estudio, esto a una escala de 1:3500.

Las coordenadas de los afloramientos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. *Coordenadas de ubicación de los afloramientos descritos.*

CÓDIGO	Coordenadas UTM DATUM PSAD 56		
	X	Y	Z
AMV-01	641354	9662476	192
AMV-02	641199	9662357	159
AMV-03	641255	9662376	169
AMV-04	641402	9662319	225
AMV-05	641550	9662412	279
AMV-06	641762	9662464	329
AMV-07	641801	9662440	365
AMV-08	641668	9662366	319
AMV-09	641030	9662704	120
AMV-10	641216	9662755	140
AMV-11	641272	9662774	145
AMV-12	641351	9662763	160
AMV-13	641993	9662752	230
AMV-14	642143	9662863	276
AMV-15	642163	9662875	293
AMV-16	642165	9662710	250
AMV-17	642237	9662716	258
AMV-18	642348	9662576	315
AMV-19	642050	9662660	250
AMV-20	642033	9662593	267
AMV-21	642064	9662406	363
AMV-22	642343	9662314	427

Fuente: Autor, 2016.

Posteriormente, en la segunda fase se identificó y delimitó las diferentes litologías en la galería principal de transporte de la mina. En esta fase se puso mayor énfasis y se procedió a la toma de diez muestras de roca, de las cuales ocho correspondieron directamente a esta galería y las dos restantes ubicadas una al Sur de la veta Rosita y otra al Sur de la Veta Lupe.

Se tomaron las muestras en subterráneo debido a la mejor percepción que se obtiene de los cambios litológicos, además porque en la superficie las rocas se encuentran más alteradas y su visualización se hace más compleja debido a la exuberante vegetación.

Ante lo descrito anteriormente se procedió a la toma de las muestras mediante el empleo de un cincel y un combo en los diez puntos descritos anteriormente, tratando de recuperar una muestra representativa y con el menor grado de alteración posible. En la Fotografía 1 se aprecia la toma de muestra en una dacita porfídica de hornblenda.



Fotografía 1. Toma de muestra de roca en galería principal de transporte.

Fuente. Autor, 2016.

Estas muestras sirvieron para:

- Descripción macroscópica en donde se determinó: textura, estructura, tipo de roca, color, mineralogía y granulometría.
- Elaboración de probetas cúbicas empleadas para la determinación de la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, dato necesario en la caracterización del macizo.
- Elaboración e interpretación de láminas delgadas.

Además, para la descripción de la mineralización se procedió a la toma de cuatro muestras de mineral obtenidas de las vetas: Milagro, Lupe, Azul y Rosita, en cantidad suficiente para la descripción macroscópica, misma que fue realizada en el laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja.

En la Fotografía 2 se muestra la toma de muestra de la veta Milagro y en el Cuadro 2 se detalla los puntos de muestreo de rocas y mineral.



Fotografía 2. Toma de muestra de mineral de la veta Milagro.

Fuente. Autor, 2016.

Cuadro 2. Detalle de los puntos de muestreo en subterráneo

CÓDIGO	CÓDIGO DE CAMPO	TIPO DE MUESTRA	COORDENADAS PSAD 56		DESCRIPCIÓN
			X	Y	
PMV-MR01	J11	Roca	641229	9662449	Tomada a 27 metros de la bocamina. Roca fresca, no alterada. Algunas diaclasas con relleno de suelo.
PMV-MR02	+060	Roca	641278	9662462	Tomada a 77 metros de la bocamina. No presenta alteración. Algunas diaclasas con relleno de calcita.
PMV-MR03	125	Roca	641346	9662476	Tomada a 147 m de la bocamina. Roca muy resistente, textura porfídica.
PMV-MR04	167	Roca	641378	9662486	Tomada a 180 metros de la bocamina. Roca fresca, se evidencia pequeños hilos de epidota.
PMV-MR05	192	Roca	641411	9662492	Tomada a 213 metros de la bocamina. Textura porfídica.
PMV-MR06	315	Roca	641536	9662522	Tomada a 342 metros de la bocamina. Textura porfídica, se evidencia claramente la hornblenda.
PMV-MR07	355	Roca	641578	9662533	Tomada a 385 metros de la bocamina. Textura afanítica, grano fino.
PMV-MR08	ALD:000 16	Roca	641807	9662570	Tomada a 617 metros de la bocamina. Roca mineralizada con pirita.
PMV-MR09	LS	Roca	641757	9662528	Tomada al Sur de la veta Lupe. Textura porfídica, coloración verde oscura.
PMV-MR10	RS	Roca	641916	9662514	Tomada al Sur de la veta Rosita. Textura porfídica, coloración blanquecina.

PMV-MV01	Milagro	Mineral	641475	9662488	Veta con alto contenido de óxido y sulfuros de hierro, escaso cuarzo y calcita.
PMV-MV02	Lupe	Mineral	641694	9662579	Veta constituida por cuarzo y sulfuros, entre ellos pirrotina, pirita, calcopirita, oro.
PMV-MV03	Azul	Mineral	641713	9662566	Material con elevado coeficiente de fortaleza. Coloración azulada. Elevado contenido de estibina, se puede ver chispas de oro.
PMV-MV04	Rosita	Mineral	641764	9662574	Veta constituida por cuarzo y sulfuros, principalmente pirita. 20 cm de potencia.
Fuente: Autor, 2016.					

6.2.1.3 Trabajo de laboratorio

A las muestras recolectadas en campo se procedió a darles una limpieza mediante un lavado y cepillado superficial, eliminando impurezas de la roca procedentes del transporte. Seguidamente se procedió a realizar un análisis macroscópico de las mismas, en las cuales se pudo determinar la textura, estructura, tipo de roca, color, mineralogía, granulometría y nombre de la roca, empleando para ello el formato que se muestra en el Cuadro 3. Esto se realizó en el Laboratorio de Petrografía y Mineralogía de la Universidad Nacional de Loja.

Cuadro 3. Formato empleado para la caracterización macroscópica de las rocas.

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra		Fotografía
Tipo de Roca		
Textura		
Estructura		
Color		
Mineralogía		
Granulometría		
Nombre de la Roca		
Observaciones		
Fuente: Autor, 2016.		

Para la determinación del nombre exacto de la roca se ha procedido a la elaboración e interpretación de láminas delgadas, servicio que ha sido solicitado al Laboratorio de Petrografía y Mineralogía de la Universidad Técnica Particular de Loja, cuyos resultados se presentan en el Anexo 10.

En cuanto a la mineralización, se efectuó un análisis macroscópico para determinar los principales componentes minerales de las vetas, mismas que son descritas en la página 84, en la sección de Estructuras y Mineralización.

6.2.2 Segundo objetivo

Realizar mediciones in situ de las propiedades estructurales del macizo rocoso de la galería principal de transporte de la mina de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., para la caracterización geomecánica del mismo.

6.2.2.1 Trabajo de gabinete

Se preparó en oficina la ficha para la recolección de datos estructurales del macizo rocoso, así como datos geomecánicos para la caracterización del mismo mediante el método Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, 1989. En la Figura 15 se presenta el formato empleado en la caracterización del macizo rocoso. El parámetro de resistencia al esclerómetro de bolsillo no fue considerado debido a que la resistencia de la matriz rocosa se la determinó en laboratorio.

ESTACION N°	CONTINUIDAD		ABERTURA en mm	RUGOSIDAD	RELLENOS			
	ESPACIADO en mm	Rumbo / Buzamiento			Meteorización	Filtraciones	Resistencia	
TIPO DE PLANO	DIRECCION DE BUZAMIENTO							
BUZAMIENTO (°)	< 20	Muy Baja	< 0.1	I Rugosa	I Sana			
	20-60	Baja	0.1-0.25	II Lisa	II Algo Meteorizadas			
	60-200	Moderada	0.25-0.5	III Slickensided	III Media Meteorizadas			
	200-600	Alta	0.5-2.5	IV Rugosa	IV Muy Meteorizadas			
	600-2000	Muy Alta	2.5-10	V Lisa	V Compl. Meteorizadas			
	2000-6000		> 10	VI Slickensided	VI Suelo Residual			
	> 6000		10-100	VII Rugosa				
			100-1000	VIII Lisa				
			> 1000	IX Slickensided				
				Composición				
				Esesor mm				
					Seco			
					Húmedo			
					Goteos			
					Flujo			
						1 Muy Blando		
						2 Blando		
						3 Consistente		
						4 Muy Consistente		
						5 Duro		
						6 Muy Duro		
						RESISTENCIA AL ESCLERÓMETRO DE BOLSILLO		
						kg/cm2		
TIPO DE PLANO	So-Estratificación	J1...Jn-Juntas	RELLENO	G-Gravas	A-Arcillas	M-Milonita	C-Calcita	F-Feldespatos
	S1-Esquistocidad	F1...Fn-Fallas		S-Arena	B-Brecha	Q-Cuarzo	O-Oxido	

Figura 15. Formato empleado para la caracterización geomecánica del macizo rocoso.

Fuente. González de Vallejo, et al, 2002 (p.241).

Posterior a la toma de datos in situ, se procedió al análisis de los mismos y a la respectiva categorización del macizo rocoso según los parámetros propuestos por Bieniawski en 1989.

Se procedió a representar las diferentes estructuras mapeadas en la galería principal de transporte hasta 617 metros desde la bocamina.

Las Figuras 7, 8 y 9 que se mencionan en el marco teórico en la página 22, se dibujaron en Excel y se determinaron las ecuaciones de cada curva para establecer con mayor exactitud la valoración para los parámetros de Resistencia de la matriz rocosa, RQD y espaciamiento de las discontinuidades.

Luego de consideradas los cinco parámetros planteados por Bieniawski se realizaron las correcciones por orientación de las discontinuidades, para determinar así el RMR.

Posterior a ello se empleó la ecuación propuesta por Hoek para la determinación del GSI y su comparación en la tabla general propuesta por Hoek y Marinos (2000), misma que se muestra en la Figura 16.

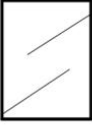





<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		<p>SURFACE CONDITIONS</p> <p>VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces</p> <p>GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces</p> <p>FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces</p> <p>POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments</p> <p>VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p> <p>STRUCTURE DECREASING SURFACE QUALITY →</p>				
<p>STRUCTURE</p> <p> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</p> <p> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</p> <p> VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</p> <p> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</p> <p> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</p> <p> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p> <p>← DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</p>		<p>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</p> <p>90 N/A N/A</p> <p>80</p> <p>70</p> <p>60</p> <p>50</p> <p>40</p> <p>30</p> <p>20</p> <p>10</p> <p>N/A N/A</p>				

Figura 16. Tabla general para la determinación del GSI.

Fuente. Hoek, Evert. Practical Rock Engineering, 2006

6.2.2.2 Trabajo de campo

En esta fase, se procedió a realizar el levantamiento estructural y geomecánico.

Inicialmente se realizó un recorrido y reconocimiento de la galería principal de transporte de la mina y su división en zonas para la caracterización geomecánica, tal como lo recomiendan Gavilanes y Andrade (2004) y se menciona en la revisión de literatura, página 19.

Se dividió a la galería principal de transporte en 34 tramos para la caracterización del macizo rocoso, estos tramos no son equidistantes ya que uno difiere de otro por las condiciones litológicas, estructurales y/o geomecánicas que presenta.

En cada tramo se realizó la toma de los datos in situ. Para el caso de las diaclasas se empleó la notación Dip/Dip Direction (Buzamiento/Dirección de buzamiento) la cual es empleada para el análisis cinemático en la estéreo falsilla. En cuanto a fallas, vetas y vetillas se empleó la notación Azimut/ Buzamiento.

Entre otros datos tomados para la caracterización geomecánica constan: RQD, espaciado de las discontinuidades, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, meteorización y condición de agua subterránea.

Al no contar con núcleos de perforación, el RQD fue estimado mediante la frecuencia de discontinuidades, aplicando la fórmula propuesta por Priest y Hudson (1981) para toma de datos lineales que proporciona el valor teórico mínimo del RQD.

$$\text{RQD} = 100 e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1), \text{ donde;}$$

λ es el número de juntas por metro lineal, denominado frecuencia de discontinuidades.

En cuanto a la determinación de la separación o espaciamiento de las discontinuidades se tomaron varias mediciones con un flexómetro y se realizó un promedio de las mismas para cada familia de discontinuidades presentes en cada tramo mapeado.

De manera similar se determinó la longitud y abertura de las discontinuidades de cada familia empleando el flexómetro.

En cuanto a la rugosidad, se empleó un peine de Barton, calcando la superficie de la discontinuidad para su posterior determinación del índice de rugosidad mediante el empleo del diagrama para determinar JRC que se muestra en la Figura 17.

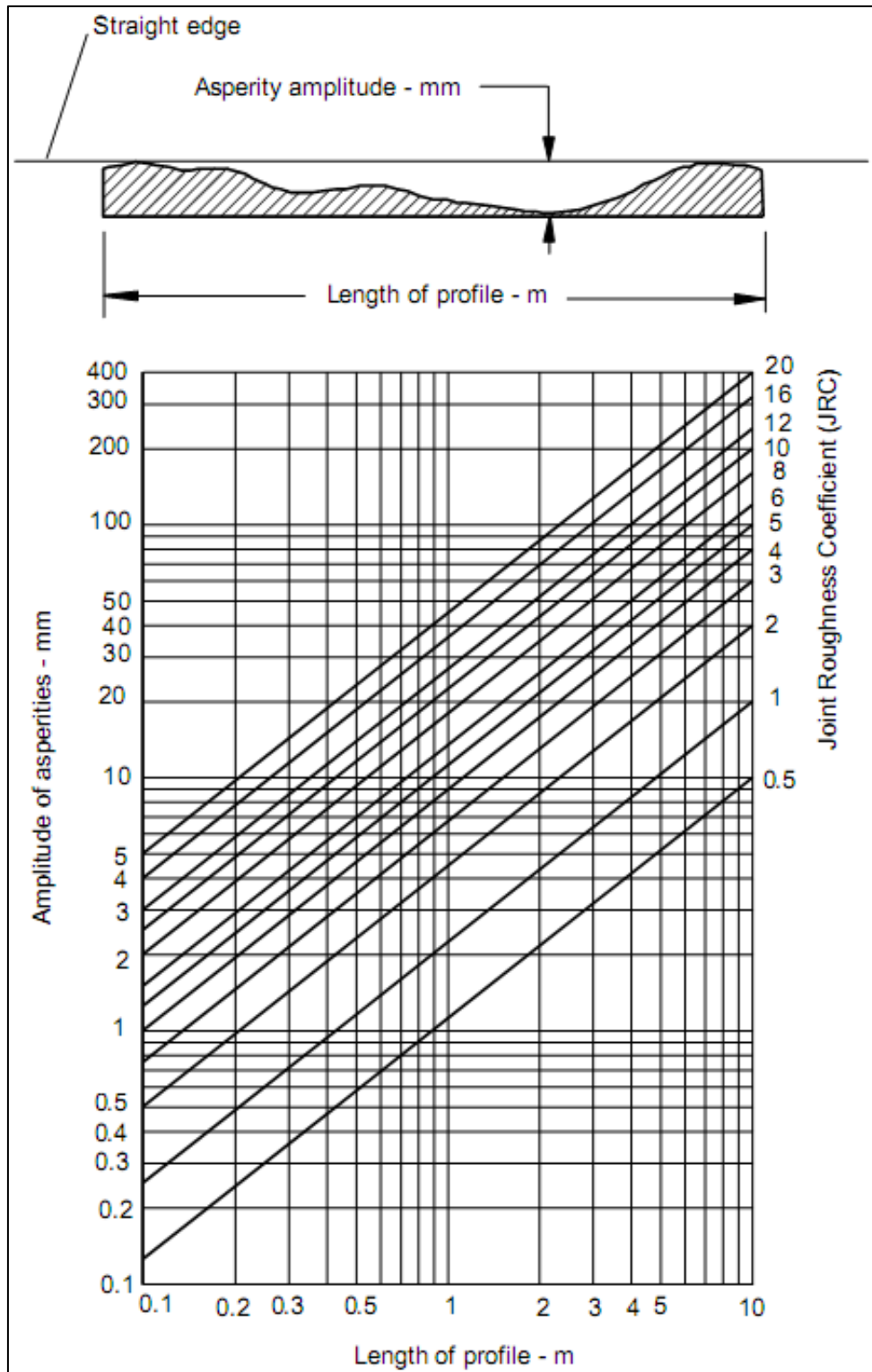


Figura 17. Gráfico empleado en la determinación del Índice de Rugosidad JRC

Fuente. Hoek, Evert. Practical Rock Engineering, 2006

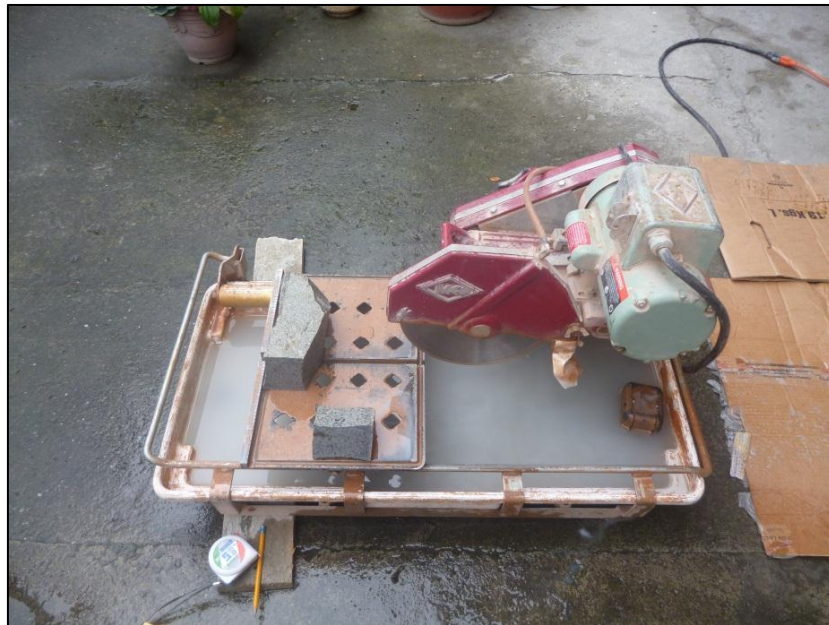
El relleno, alteración y condición de agua subterránea igualmente se determinaron mediante observaciones in situ a las paredes de las discontinuidades.

6.2.2.3 Trabajo de laboratorio

La resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa se la obtuvo en el laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Nacional de Loja, perteneciente al Proyecto 818, cofinanciado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación SENESCYT y se utilizó una prensa CONTROLS, Modelo C34C04, Serial 12018211 y Capacidad 3000 KN.

Al no contar con probetas cilíndricas para realizar este ensayo, se adecuaron las muestras de las rocas cortándolas en probetas cúbicas de 5 centímetros de lado y puliendo las caras del mismo para lograr una mejor superficie de contacto el momento de ejecutar el ensayo. En la Fotografía 3 se muestra la máquina empleada para realizar los cortes a las muestras de roca.

Al tratarse de muestras pequeñas, se emplearon en la prensa los distanciadores adecuados, se emplearon también dos placas de acero de 12 milímetros de espesor y 5 centímetros por lado, las cuales se ubicaron sobre las caras de los cubos de roca a ensayar, esto para lograr una mejor superficie de contacto y una adecuada distribución de los esfuerzos. Los resultados de los ensayos de compresión se detallan en el Anexo 11.



Fotografía 3. Máquina empleada para realizar los cortes de las rocas

Fuente: Autor, 2016.

6.2.3 Tercer objetivo

Efectuar un análisis cinemático del macizo rocoso de la galería principal de transporte para la determinación de zonas inestables lo cual permita formular propuestas técnicas que eviten los riesgos y permita la normal producción de la mina.

6.2.3.1 Trabajo de gabinete

En cada tramo determinado y empleado en la caracterización geomecánica del macizo rocoso se realizó un análisis bidimensional de las familias de discontinuidades de la galería principal de transporte usando el software Dips, mismo que permitió apreciar la disposición de las familias de discontinuidades.

En los estereogramas resultantes del análisis cinemático en el software Dips se ha empleado el ángulo de fricción básico, mismo que ha sido determinado bibliográficamente según González de Vallejo, et al, 2002 y datos del software RocLab.

Al emplear el software Dips, se pudo determinar los tramos en donde existe la formación de cuñas tetraedrales, mismas que pueden caer por caída libre desde el techo o por deslizamiento y para tener una visión más clara de éstos tramos, se realizó un análisis tridimensional empleando el software Unwedge 3.0, el cual permitió apreciar de mejor manera la disposición de las cuñas tetraedrales tanto en el techo, el piso, como en las paredes de la galería, además se pudo obtener otros datos como el peso de las diferentes cuñas que se pueden formar, factor de seguridad, etc.

A decir de Hoek Evert en su obra Practical Rock Engineering (p. 2. Capítulo “Structurally controlled instability in tunnels”), el tamaño y la forma de las cuñas potenciales en el macizo rocoso que rodea una abertura depende del tamaño, forma y orientación de la abertura y también de la orientación de los principales sets de discontinuidades. La geometría tridimensional del problema requiere un conjunto de cálculos relativamente tediosos que pueden ser realizados por parte, pero es mucho más eficiente utilizar un programa de ordenador como el Unwedge, el cual fue desarrollado específicamente para su uso en la minería subterránea de roca dura.

Mediante este análisis se puede determinar las zonas inestables debido a la formación de cuñas tetraedrales formadas por la intersección de las familias de discontinuidades.

El programa determina la ubicación y las dimensiones de las cuñas más grandes que se pueden formar en el techo, el piso y las paredes laterales de la excavación.

Luego de determinar estas zonas mediante el software se procedió al planteamiento de medidas con el fin de evitar posibles caídos de las mismas, por ejemplo el empleo de pernos de anclaje.

6.2.3.2 Trabajo de campo

El software empleado: Unwedge, requiere algunos datos como: Coeficiente de Rugosidad JRC, Resistencia de las discontinuidades JCS y Ángulo de fricción residual ϕ_r , para lo cual se ha empleado un peine de Barton en la determinación de JRC y un esclerómetro para determinar JCS y el ángulo de fricción residual. (Ver Anexo 13)

En cuanto al peine de Barton, se empleó un ejemplar de 15 cm. Previo al uso del mismo se realizó una limpieza del polvo de las diaclasas estudiadas y se procedió a calcar la superficie de éstas ejerciendo una pequeña presión sobre el peine para que adopte la forma de la rugosidad. Una vez calcada se procedió a determinar el valor de JRC empelando la Figura 17.

Para la determinación de JCS se empleó un Martillo Schmidt Tipo N. Se procedió a preparar cada una de las superficies de ensayo eliminando el polvo y/o pátinas de carbonatos presentes y alisando la superficie con una piedra de esmeril.

Una vez lista la superficie de ensayo se posicionó el martillo perpendicularmente a la superficie de la roca ensayada, se efectuó presión sobre el martillo, empujándolo hasta producirse el disparo del vástago o punzón de impacto, posterior a ello se pulsó el botón lateral del martillo para bloquear el vástago y leer y registrar el valor de rebote indicado en la escala graduada.

En cada superficie de ensayo se realizó la toma de 10 valores para su posterior estimación del JCS, se eliminaron los cinco valores más bajos y se promedió los valores más elevados.

Al haber tomado las medidas con un martillo Tipo N se empleó la fórmula propuesta por Ayday y Göktan (1992) quienes 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 es el valor del rebote del esclerómetro o martillo Schmidt, sobre una superficie de material sano y seco; r es el valor del rebote del esclerómetro sobre la superficie de la pared de la junta en estado natural, húmedo o seco; ϕ_b es el ángulo de resistencia básico de la roca y se obtiene de tablas bibliográficas. Si las paredes de la discontinuidad están sanas, $\phi_b = \phi_r$.

Se procedió de manera similar a como se tomaron los valores para JCS, a diferencia que para determinar el rebote en la superficie de la pared de la junta en estado natural no se eliminó el relleno de las paredes de las juntas.

6.2.3.3 Trabajo de laboratorio

Se determinaron los pesos específicos de las rocas presentes en la galería principal de transporte mediante el método del picnómetro de Gay Lussac, siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación. Este dato que se ocupó en el software Unwedge 3.0

- Materiales y equipos utilizados:
 - ✓ Picnómetros de 10, 25, 50 y 100 mL de capacidad
 - ✓ Agua destilada
 - ✓ Muestra de roca
 - ✓ Mortero
 - ✓ Balanza de precisión
 - ✓ Espátula
 - ✓ Estufa
 - ✓ Cápsulas para secado de las muestras
- Procedimiento

Se pulverizó una cantidad aproximada de 200 gramos de las muestras de roca, para ello se empleó el mortero y una vez pulverizada la muestra se la sometió a temperatura en la estufa con la finalidad de eliminar la humedad contenida en el material, esto hasta que se obtuvo una masa constante, es decir una vez que el peso de la muestra seca no varió.

Se procedió a tomar el peso de los picnómetros incluidos los tapones, a esto se lo denominó con la letra P.

Seguidamente, utilizando la cucharilla se procedió a añadir a los picnómetros mineral pulverizado hasta aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la capacidad de los picnómetros, no ubicando mayor cantidad para evitar que se formase espuma e impida la correcta lectura al aforar el picnómetro. Se registró el peso del picnómetro más el mineral y a este parámetro se lo denominó con la letra M.



Fotografía 4. Llenado de los picnómetros con el material pulverizado.

Fuente: Autor, 2016.

Posterior a ello al material contenido en el picnómetro se le añadió agua destilada hasta aproximadamente $\frac{3}{4}$ de su volumen y se lo agitó para que las partículas queden totalmente mojadas, esto se muestra en la Fotografía 5.



Fotografía 5. Agitación de la muestra pulverizada y agua destilada contenidas en el picnómetro.

Fuente: Autor, 2016.

Se dejó sedimentar la mezcla y cuando ésta estuvo totalmente clara se le añadió agua destilada hasta el borde, se introdujo la tapa del picnómetro apreciando en ese instante la subida del agua por el capilar, se secó cuidadosamente el picnómetro y se midió esta masa la cual se la representó con la letra S. En la Fotografía 6 se muestran dos muestras en proceso de sedimentación dentro de los picnómetros.



Fotografía 6. Proceso de sedimentación de dos muestras de roca.

Fuente: Autor, 2016.

Finalmente se desechó el contenido del picnómetro, lavándolo cuidadosamente para eliminar partículas de la muestra que quedasen dentro, se lo llenó con agua destilada, se lo tapó, secó y se registró este peso. A esto se lo denominó con la letra W.

La fórmula que se empleó para este cálculo es:

$$Pe = \frac{M-P}{W+M-P-S} \quad \text{Donde;}$$

Pe = peso específico de la muestra.

P = masa del picnómetro vacío.

M = masa del picnómetro con el mineral triturado dentro.

S = masa del picnómetro con el mineral dentro y lleno de agua destilada, y;

W = masa del picnómetro lleno solamente de agua destilada.

Para cada muestra se efectuaron tres ensayos realizando un promedio de los valores obtenidos y así determinar un valor más significativo del peso específico.

Todos los valores obtenidos de este ensayo se muestran en el Anexo 14, donde además se incluye el cálculo del peso específico de las muestras de mineral de las vetas Milagro, Lupe, Azul y Rosita.

7. RESULTADOS

7.1 Ubicación y Acceso

La Compañía Minera Minervilla Cía. Ltda., opera bajo el régimen de pequeña minería y se encuentra ubicada al Suroccidente del país, al Oeste de la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez en el sector denominado Río Villa.

El área se encuentra delimitada por los vértices formados con las coordenadas UTM PSAD 56 que se especifican en la Tabla 3.

Tabla 3. *Coordenadas del área de la Compañía Minervilla Cía. Ltda.*

PUNTO	Coordenadas UTM DATUM PSAD 56		Superficie (Ha)
	X	Y	
PP	641000	9662350	
1	641000	9662590	
2	642000	9662590	
3	642000	9662740	37.26
4	642340	9662740	
5	642340	9662350	
6	642000	9662350	

Fuente: Escritura Pública de Contrato de Operación Minera.

El acceso al área minera de la compañía Minervilla Cía. Ltda., se lo puede realizar:

- Por vía terrestre

Desde Guayaquil, utilizando la vía Panamericana que conduce hasta Machala, con un recorrido aproximado de 139 Km., se llega hasta el Cuerpo de Bomberos del cantón Camilo Ponce Enríquez y se toma la izquierda, hasta llegar a la vía General Villa, la cual conduce hasta el área minera.

Desde la ciudad de Cuenca mediante la Vía Girón – Pasaje hasta la “Y” de Machala y luego por la vía Panamericana que conduce a Guayaquil, vía asfaltada y con señalización llegando al centro cantonal, se continúa hasta el cementerio general, tomando en este punto la vía de segundo orden denominada General Villa perteneciente al barrio Buenos Aires, hasta llegar al área minera en el sector Río Villa.

Se puede acceder además mediante la vía Molleturo – Naranjal, vía asfaltada y con señalización, luego tomando la vía Panamericana que conduce a Machala, llegando hasta la calle Azuay (de segundo orden), perteneciente al barrio Buenos Aires en el cantón Camilo Ponce Enríquez para continuar seguidamente por la vía General Villa, hasta llegar al área minera en el sector Río Villa.

Además directamente desde Machala se puede tomar la vía Panamericana que conduce a Guayaquil recorriendo aproximadamente 42 Km, se llega hasta el cementerio general del cantón Camilo Ponce Enríquez, tomando en este punto la vía de segundo orden denominada General Villa perteneciente al barrio Buenos Aires, hasta llegar al área minera en el sector Río Villa.

- Por vía aérea:

Desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre ubicado la parroquia Tababela en Quito hasta el Aeropuerto Internacional de Santa Rosa para continuar por vía terrestre por la vía Panamericana que conduce a Guayaquil, se llega hasta el cementerio general del cantón Camilo Ponce Enríquez, tomando en este punto la vía de segundo orden denominada General Villa perteneciente al barrio Buenos Aires, hasta llegar al área minera en el sector Río Villa.

7.2 Topografía superficial

El área minera de Minervilla Cía. Ltda., comprende un total de 37.26 hectáreas contiguas, se ubica al Sur de la Cordillera Occidental y se caracteriza por poseer una topografía irregular, la cual comprende cotas que van desde los 110 hasta los 422 metros sobre el nivel del mar.

Entre las principales características topográficas en la superficie del área se encuentra el Río Villa, mismo que pasa por la parte Noreste del área y tiene como afluentes a varias quebradas de bajo caudal tanto a la ribera izquierda como a la ribera derecha del río.

En cuanto a la infraestructura del campamento se tiene que: a nivel de la bocamina, al lado izquierdo se emplaza el taller mecánico, casa de máquinas, bodega de reciclaje y área de desechos biopeligrosos, al lado derecho se ubica la bodega, las oficinas, los dormitorios, cocina, comedor, baños y las canchas. Junto a la escombrera se encuentra el cuarto de preparación de explosivos y el polvorín.

Existe una única vía interna dentro del área minera y otra que bordea el área y conduce a otras minas ubicadas en la parte superior. Los detalles topográficos ver en el Anexo 2.

Las elevaciones más pronunciadas se manifiestan en la parte Sureste del área, sector en donde se evidencia la mayor cota la cual corresponde a 422 metros sobre el nivel del mar. Para caracterizar las pendientes se ha elaborado un mapa en el cual se han definido seis clases empleando para ello la clasificación de Demek, 1972, los resultados se muestran en el Cuadro 4. El mapa de pendientes ver en Anexo 3.

Cuadro 4. Pendientes del Área minera Minervilla.

Rango (°)	Descripción	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0 – 2	Plano (planicie)	0.077	0.206
2 – 5	Ligeramente inclinado	0.05	0.133
5 – 15	Fuertemente inclinado	6.505	17.46
15 – 35	Muy inclinado	22.491	60.363
35 – 55	Empinado	8.033	21.558
55 – 67.78	Vertical	0.104	0.279
Fuente: Autor, 2016.			

En base a los resultados se observa que existen pendientes desde planas hasta verticales.

Las pendientes ligeramente inclinadas representan el menor área con 0.05 Ha, abarcando el 0.133 % del área total y ubicándose en la parte Oeste y al Noreste del área siguiendo el Río Villa y sus quebradas afluentes del lado derecho aguas arriba.

Las pendientes planas abarcan 0.077 Ha, representando el 0.206 % del área total y ubicándose adyacentemente a las pendientes ligeramente inclinadas, esto es al Oeste y al Noreste del área.

El 17.46 % del área posee pendientes fuertemente inclinadas, lo cual representa 6.505 Ha y se manifiestan mayoritariamente en la parte Este del área, esta clase también se manifiesta al Noreste del área siguiendo el Río Villa y sus quebradas afluentes de la ribera derecha aguas arriba. La mayor parte del área comprende pendientes muy inclinadas ocupando 22.491 Ha, mismas que equivalen a 60.363 % y se distribuyen por todo el área.

Las pendientes empinadas ocupan 8.033 Ha lo cual equivale a 21.558 % del área y se encuentran distribuidas al Este de la longitud con coordenada 641375. Finalmente las pendientes verticales ocupan 0.104 Ha lo cual representa un 0.279 % del área y se encuentran al Este de la longitud 642000 tanto en la parte central como en la parte sur del área. La figura 18 representa los porcentajes y rangos de las pendientes dentro del área.

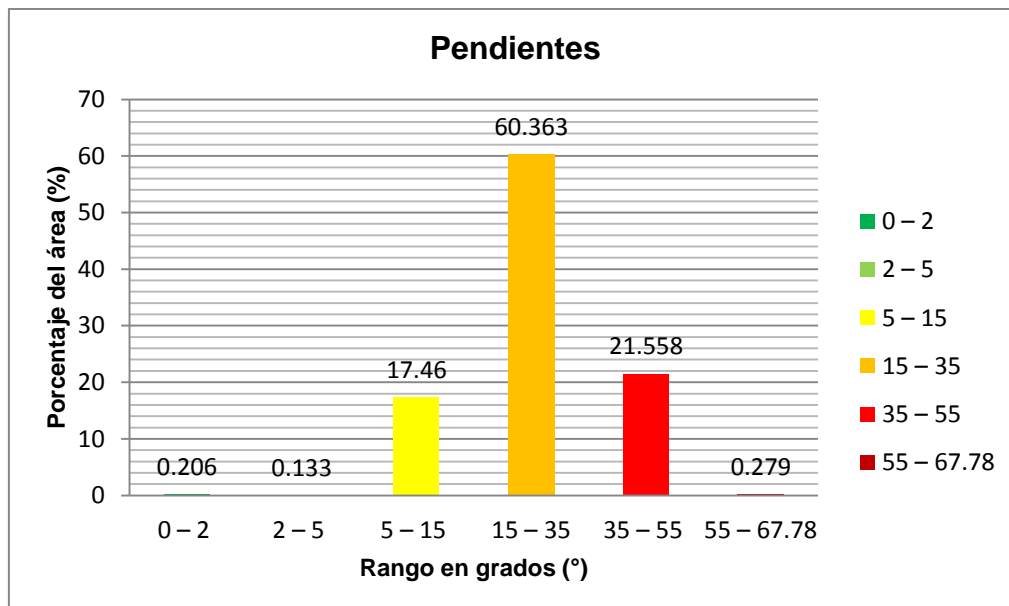


Figura 18. Representación gráfica de las pendientes

Fuente. Autor, 2016.

7.3 Topografía subterránea

La galería principal de transporte posee aproximadamente 617 metros de longitud, teniendo un rumbo predominante SW – NE. En todo el nivel mapeado se han ubicado 47 estaciones, de las cuales 13 se han ubicado netamente en la galería principal de transporte.

Esta galería sirve de exploración e inicialmente se direcciona con un rumbo N 76° E hasta 541 metros. Posee una sección promedio que comprende un ancho de 1.9 metros y un alto de 2.3 metros.

La bocamina está ubicada en las coordenadas UTM/PSAD 56: 641203.92 / 9662443.11 Z=139.58. Los primeros diecisiete metros consta de un túnel de hormigón mismo que tiene un ancho de 1.65 m. y altura central de 2.40 m. Ver fotografía 10.

La galería alcanza un ancho máximo de 3.5 metros en determinados puntos, y una altura que llega hasta los 3 metros, especialmente a partir de la estación E10, sin embargo existen tramos en donde se reduce la sección llegando a tener anchos de 1.55 metros y alturas de 1.75 metros, esto especialmente entre las estaciones E6 – E7. Ver Anexo 4.

A 259 metros de la bocamina se ha franqueado una galería transversal la cual sigue el rumbo de la veta Milagro, misma que inicia con un azimut de 315°. Tanto los buzones como las chimeneas se encuentran deshabilitados debido a que las labores de explotación en este sector han culminado.

Al SE de la estación EM2 existe un pique de aproximadamente 30 metros de profundidad y 75° de inclinación en donde igualmente las labores de explotación se han suspendido y actualmente se encuentra inundado por lo que no se ha podido obtener información de este sector.

A 505 metros desde la bocamina, en la estación E8 se ha construido una galería que se comunica con la veta Milagro, misma que a la vez sirve para ventilación.

Otra galería transversal se ha construido franqueado la veta Lupe tanto al Noroeste como al Sureste de la galería principal de transporte, hacia el Noroeste existen dos buzones y dos chimeneas camino. De manera similar hacia el Sur se han preparado y desarrollado un buzón y una chimenea camino, empleados para la explotación de la veta mediante corte y relleno. La parte de descarga de los buzones hacia los vagones tienen una inclinación de 30° aproximadamente y las chimeneas camino son subverticales.

A 541 metros de la bocamina, en la estación E10, la galería principal de transporte cambia de dirección, tomando un rumbo Este – Oeste, debido a que en este punto la labor subterránea se acerca al límite del área y además sirve para no intersectar con el río Villa.

Conforme ha avanzado la exploración se corta la veta Rosita, ante lo cual se franquea una galería transversal siguiendo el rumbo de la veta yendo al Noroeste como al Sureste, hacia el Noroeste existen 2 buzones y 2 chimeneas camino. De manera similar, hacia el Sur se han preparado y desarrollado 3 buzones y 3 chimeneas camino empleados para la explotación de la veta mediante corte y relleno.

Las labores se han desarrollado principalmente hacia la parte superior de cada veta. Al ir ascendiendo, la ley de oro ha ido disminuyendo por lo que se han suspendido las labores hacia la parte superior y actualmente se construye un pique al Suroeste de la veta Lupe, junto a la estación ELN4, mismo que cuenta con un ángulo de inclinación de 75° aproximadamente, esto con la finalidad de explorar los valores más a profundidad en las vetas Lupe, Rosita y Azul.

Las mayores profundidades que alcanzan las labores subterráneas en el nivel principal están en aproximadamente 270 metros al extremo Sureste en la Veta Milagro en la estación EM18, a 188 metros en veta Rosita hacia el Sureste de la estación ERS4 y a 130 metros en la galería principal de transporte, al Este de la estación E12.

7.4 Geología Regional

Goosens y Rose (1973), Jaillard et al. (1995), citados por Vallejo (2007, p.11), mencionan que la Cordillera Occidental de Ecuador se compone de bloques oceánicos alóctonos, que comúnmente se cree que han acreacionado contra el margen de la Placa Sudamericana durante el Cretácico Superior. El desplazamiento de falla transcurrente a lo largo de las fallas de tendencia aproximadamente N-S, ha resultado en un complicado conjunto de unidades tectono-estratigráficas que yuxtapone sucesiones volcano-sedimentarias de litologías similares pero de diferentes edades.

Varios trabajos se han realizado en la Cordillera Occidental, Vallejo (2007, p.12) menciona que fue Wolf en 1892 quien inicialmente reportó la existencia de rocas máficas e intermedias, describiendo las rocas volcánicas como rocas porfídicas y esquistos verdes.

Más tarde, en el año 1965, Sauer se refirió al basamento basáltico de la Cordillera Occidental como Formación Diabásica-Porfirítica, y Goosens y Rose en 1973 agruparon posteriormente la Formación Diabásica-Porfirítica con la Formación Piñón de la región costera como Complejo Ígneo Básico, que también se extendió a Colombia y Centroamérica.

Haciendo referencia nuevamente a Vallejo (2007, p.12), menciona que Henderson en 1979 reclasificó el basamento ígneo de la Cordillera Occidental como la Formación Macuchi, distinguiéndolos de la Formación Piñón, debido a la presencia de las lavas tanto toleíticas y calco-alcalinas, él las interpretó como un conjunto de arco de isla.

La zona de estudio pertenece de manera general al Distrito Minero Azuay, específicamente a una de las subdivisiones metalotectónicas del Distrito Azuay: el Campo Mineral Ponce Enríquez (Ver Figura 19).

En la obra Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (Prodeminca) Vol. 1, p.72, se menciona que el Distrito Azuay abarca toda la anchura de la Cordillera Occidental desde el Terreno Loja, al Este de la Falla de Baños, hasta la llanura costera del Golfo de Guayaquil en el Oeste. Desde el Sureste al Noreste comprende segmentos de los terrenos de rumbo NE-NNE Loja, Alao, Chaucha y Pallatanga de edades pre-tardi Cretácico que han sido acreacionados sucesivamente al hinterland Paleozoico-Triásico del Cratón de Guayana (Escudo Brasileño). Los límites entre estos terrenos están marcados por fallas inversas regionales y cabalgamientos. La evolución cenozoica del área estuvo dominada por magmatismo calco-alcalino y sedimentación.

De manera similar en la obra: Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador. Depósitos porfídicos y epi - mesotermiales de las Cordilleras Occidental y Real. Vol 4. p. 93, se menciona que el Distrito Azuay ocupa la totalidad de la provincia de Azuay, excepto por su orientación NW y la parte Norte de la Provincia de El Oro. Su delineación es en cierta medida arbitraria pero cubre esencialmente el área ocupada por el Grupo Saraguro en el Sur del Ecuador al Oeste de la longitud 79° W y la ciudad de Cuenca.

El borde Sur ha sido definido por los límites fallados del Complejo Metamórfico de El Oro y el borde Norte escogido para incluir todo el afloramiento de la cuenca de Cuenca, la masa principal del Batolito de Chaucha y el grupo asociado de depósitos del Campo Mineral Molleturo.

En el distrito del Azuay al Sur del Ecuador hasta ahora se han localizado más de cuarenta manifestaciones de mineralización epitermal entre depósitos e indicios. Ellos se localizan a lo largo de corredores estructurales, dentro de dos cinturones volcánicos pertenecientes al grupo Saraguro: cinturón de Gañarín y cinturón de Collay-Shingata. (Paladines y Soto, 2010. p. 145.).

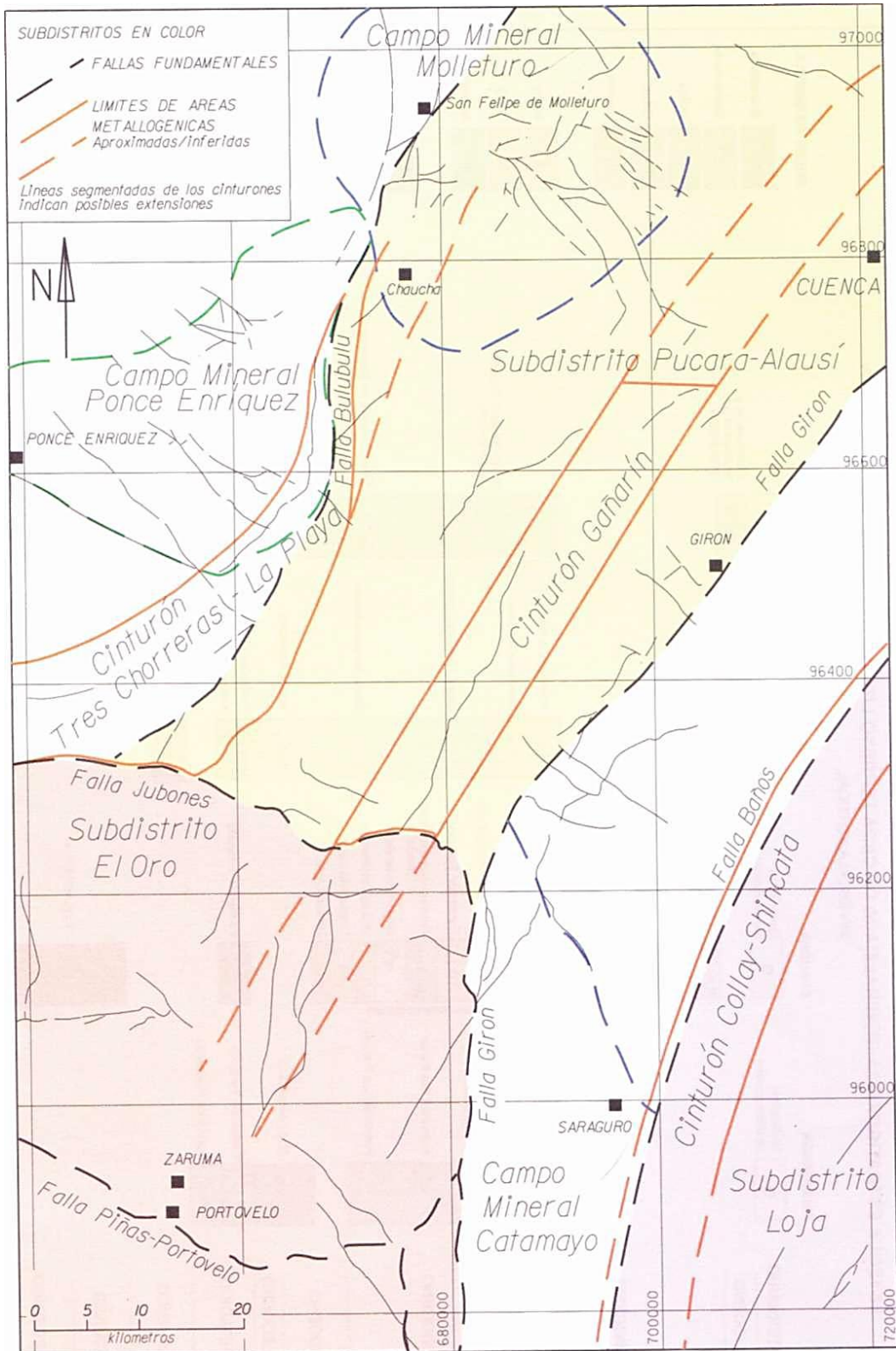


Figura 19. Mapa de las subdivisiones metalotectónicas del Distrito Azuay

Fuente. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (Prodeminca). Evaluación de distritos mineros en el Ecuador: Depósitos porfíricos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real Vol. 4. p. 104.

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Camilo Ponce Enríquez: Fase de actualización 2014 – 2015, se ubica al cantón en una zona de transición de sierra a costa presentando zonas montañosas hacia el Este y centro y planicies costeras hacia el Oeste presentando un bajo relieve y altura, gran parte de los terrenos superficiales de la costa consiste de suelos volcánicos y aluviales cuaternarios.

Además el cantón cuenta con cinco importantes cuencas hidrográficas (Jagua, Balao, Gala, Tenguel y Río Siete) van en forma paralela desde la Cordillera Occidental hasta el Océano Pacífico.

En la Figura 20 se presenta la geología regional del área de estudio, en donde se puede apreciar que esta se encuentra dentro de la Unidad Pallatanga. La información ha sido obtenida de los mapas geológicos de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 2° - 3° S y 3° - 4° S escala 1:200000 del año 1997, los cuales han sido presentados por el Programa de Información Cartográfica y Geológica del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental: PRODEMINCA del año 2000, además se complementa con datos descriptivos que se han traducido de los Informes de Cordillera Occidental, presentados de Pratt et al. (1997) y Dunkley & Gaibor (1997).

7.4.1 Rocas metamórficas

Interpretadas como la continuación al Norte del Complejo Metamórfico de El Oro (Aspen et al., 1995; Feininger, 1978). Estas rocas aunque extensamente ocultas por rocas volcánicas más jóvenes al NE del Sistema de Fallas Jubones, ocurren en ventanas erosionales, tales como San Pablo de Cebada, Manú y en el Río San Luis. Predominan rocas metasedimentarias incluyendo algunas de muy bajo grado (sub esquisto verde), tales como pizarras y conglomerados con clivaje.

El complejo metamórfico de El Oro es considerado por ser principalmente Paleozoico al Cretácico con eventos metamórficos en el Triásico y el Cretácico (Aspden et al, 1995). Se interpreta como parte de un prisma de acreción, una conclusión respaldada por la intercalación de rocas de alto grado (gneises y esquisto azul) y filitas de bajo grado, presumiblemente la matriz del prisma.

Un cuerpo inusual de rocas metamórficas también ocurre dentro de los basaltos de Bella Rica (Unidad Pallatanga) inmediatamente al Oeste de la serpentinita de Tenguelillo. Estas rocas pueden ser el producto de cizallamiento localizado. Están pobremente expuestas.

7.4.2 Unidad Pallatanga

En el volumen 4 del estudio de ProdeMinca, se menciona que el Terreno Pallatanga en el NW del distrito comprende un segmento de corteza oceánica (Unidad Pallatanga), de edad pre-Senoniense, con una secuencia de abanico turbidítico marino Maastrichtiense superpuesta y escasamente preservada (Unidad Yunguilla) a la que se superpone discordantemente en el Este las volcánicas del Grupo Saraguro (Eoceno-Mioceno Medio) e intruidas por dioritas a granodioritas neógenas.

La Unidad Pallatanga (definida por McCourt et al., 1997), es una asociación ofiolítica dominada por una gruesa secuencia de basaltos masivos y almohadillados con hialoclastitas, intercalaciones de cherts, e intrusiones gabroicas y ultrabásicas. Las lavas basálticas tienen una química MORB y muestran alteración hidrotermal penetrativa suave. En el área de Molleturo, los basaltos de Pallatanga están fallados contra y tectónicamente intercalados con sedimentos de la Unidad Yunguilla (Dunkley & Gaibor, 1997).

Dunkley y Gaibor (1997), sostienen que la edad del basalto de la Unidad Pallatanga es desconocida, pero una correlación tentativa con la Formación Piñón de la Costa implica una edad del Cretácico Medio, pre-Senoniense. McCourt et al., sostienen que por correlación tectonoestratigráfica con litologías similares de la Cordillera Occidental de Colombia y la Formación Piñón de la Costa se interpreta que es de edad Cretácica, probablemente Cretácico Medio (p.12).

7.4.3 Unidad Celica

No se encuentra dentro del área de estudio sin embargo, aflora al NNE de El Cisne donde sobreyace inconformemente al complejo metamórfico El Oro y está sobreyacida por la Unidad Sacapalca. Las principales litologías comprenden tobas andesíticas y dacitas muy meteorizadas y lavas andesíticas a andesita-basálticas. En la cuenca de Alamor, unos 50 km al Sur de Zaruma, relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana para esta unidad (Jaillard et al., 1996).

7.4.4 Unidad Yunguilla

Sedimentos interpretados como parte de esta secuencia turbidítica afloran en Cumbe, entre Selva Alegre y Manú, al Sur de Ponce Enríquez y alrededor de Pasaje; típicamente consiste de limolitas laminadas, lutitas y areniscas finas de color gris oscuro.

Las areniscas contienen cuarzo deformado y algo de moscovita detrítica, lo cual podría indicar una fuente metamórfica. (Thalman, 1946).

En Cumbe la secuencia tiene un espesor de al menos 1.5 km y ha sido datada como (Campaniana?-) Maestrichtiana en base a diversas asociaciones de fósiles (Woods, 1997). En Ponce Enríquez las turbiditas son de edad Maestrichtiana (Wilkinson, 1997).

Según Dunkley & Gaibor (1997), consiste esencialmente de delgadas capas de turbiditas de edad Maestrichtiana, que están tectónicamente intercaladas con basaltos de la Unidad Pallatanga. Ocurren en un cinturón controlado estructuralmente, delimitado por la falla Bulubulu al Sureste y por el Sistema de Falla Multitud - Cañi al Noroeste.

7.4.5 Unidad Sacapalca

No se presenta dentro del área de estudio, sin embargo se la ha considerado dentro de la litoestratigrafía. La Unidad Sacapalca (Pratt et al., 1997) se consideró previamente como restringida al graben Catamayo (Kennerley, 1973; DGGM, 1975), sin embargo, estas rocas continúan hacia el Norte y forman una parte substancial del afloramiento previamente mapeado como Formación Saraguro.

La unidad comprende lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lutitas lacustres y tobas dacíticas esparcidas. Una sección de 3 km de espesor ocurre en el sinclinal de Chuquiribamba, al Norte de Catamayo. Una edad Paleocena a Eocena Temprana (Jaillard et al., 1996) es probable porque la unidad está intruida por el plutón San Lucas (59-51 Ma; Aspden et al., 1992) y la intrusión de El Tingo (47 ± 2 y 50 ± 3 Ma; Kennerley, 1980). Se obtuvo también una datación de trazas de fisión de 66.9 ± 5.8 Ma cerca de Catacocha (Hungerbühler, 1997).

7.4.6 Unidad Macuchi

(BGS – CODIGEM, 1993). Aflora en varios bloques fallados contra el Grupo Angamarca hacia el Este y limitados por aluviones hacia la Costa. Litológicamente predominan rocas volcanoclásticas subacuosas con algunas lavas e intrusiones subvolcánicas. Las litologías dominantes son areniscas volcánicas, tobas basálticas y hialoclastitas primarias y retrabajadas. Lavas y brechas en almohadilla ocurren en el Río Chimbo. Las rocas son extensamente retrabajadas y emplazadas por procesos de flujos de masa; muchas de las areniscas fueron depositadas por corrientes turbidíticas.

Análisis químicos indican composiciones basálticas y andesíticas de afinidad toleítica a calco-alcalina con características de elementos traza de arco de islas. Egüez (1986), reportó radiolaria y foraminífera, así como dataciones radiométricas del Eoceno Temprano a Medio.

Según Dunkley & Gaibor (1997, p.33), también se pueden presentar lavas basálticas y andesíticas, incluidas pillow lavas y pillow brechas. Las rocas muestran una amplia evidencia de retrabajamiento y emplazamiento por procesos de flujo de masa, incluido el flujo de escombros y las corrientes turbidíticas. La abundancia de tobas primarias con buenas texturas vitrioclásticas y escoria lapilli expandida, sugiere erupción dentro de aguas poco profundas o incluso ambientes subaéreos. Los ambientes de aguas someras también son sugeridos por la naturaleza fuertemente vesicular de algunas de las lavas.

7.4.7 Grupo Angamarca

Hughes y Bermúdez, 1997, citados por Prodeminca, 2000, menciona que el Grupo Angamarca, en la esquina NW del Distrito Azuay, aparece en un amplio cinturón limitado por fallas entre la Unidad Pallatanga y la Unidad Macuchi al NW. El grupo es de edad Paleocena-Eocena y está formado por un relleno de cuenca siliciclástico, que engrosa su tamaño de grano hacia el techo, de areniscas, siltitas y argilitas turbidíticas con intercalaciones de tobas intermedias.

7.4.8 Grupo Saraguro

El volumen 4 del estudio de Prodeminca, 2000, p. 95., se cita a DGGM, 1982 y Baldock, 1982, mismos que mencionan que el Grupo Saraguro, Eoceno tardío a Mioceno Medio ocupa un 60% del Distrito Azuay. Es una secuencia de 3km de espesor que, en general, yace plana u ondula suavemente, está conformado por tobas andesíticas a riolíticas y lavas con rocas sedimentarias subordinadas. El ambiente deposicional de la mayoría del grupo fue subaéreo, aunque aparecen secuencias subacuáticas localmente. El grupo ha sido subdividido en varias unidades y formaciones (Pratt et al., 1997; Dunkley & Gaibor, 1997), pero esencialmente comprende dos divisiones mayores: una secuencia inferior predominantemente andesítica-dacítica de edad Eoceno tardío a Oligoceno tardío y otra superior del Oligoceno tardío al Mioceno medio de tobas de flujo de cenizas riolíticas.

La división inferior está representada por la Formación Las Trancas y la Unidad Portovelo en el S y, en orden ascendente, las unidades Chulo, Filo Cajas, Tomebamba más las formaciones Chanlud/Río Blanco y Soldados en el N del distrito.

La división superior incluye las formaciones Plancharumi, Jubones, La Fortuna y La Paz. Esta división está dominada por tobas de flujo de cenizas soldadas, síliceas, ricas en cristales, subaéreas, probablemente facies de flujo de salida de caldera.

Pratt et. al., (1997) cita a DGGM, 1982 y Baldock, 1982 los cuales exponen que la litología principal del Grupo es toba. Texturalmente varían desde toba-brecha gruesa a toba cristalina. Algunas, como las de las formaciones La Fortuna y Jubones, son muy ácidas, con más del 77% de SiO₂ en peso. Seis análisis geoquímicos mencionan los siguientes criterios de composición:

- a) Tobas andesíticas verdes, con abundantes plagioclasas, anfíbol y cristales de augita. Las texturas vitroclásticas son poco frecuentes y las foliaciones de soldadura están menos desarrolladas.
- b) Tobas dacíticas que contienen cristales de feldespato (\pm anfíboles), algunos cristales de cuarzo en una matriz verde clara, rosada o marrón. Las texturas de soldadura y lapilli de pómez cloritizada son comunes.
- c) Tobas riolíticas blancas, marrón claro o rosadas. Las foliaciones de soldadura son pronunciadas en afloramiento, pero los vitroclastos son comúnmente destruidos por recristalización y desvitrificación. El contenido de cristal es muy variable: el feldespato y el cuarzo son comunes. La biotita es un componente importante de algunas tobas.

El grosor del grupo es variable. Hay algunas áreas como el Río León, donde solo es de 1 km de espesor. Hay otros, como el área tipo, que ascienden a 3 km. Se considera que las secuencias más completas ocurren solo al Norte de los sistemas de fallas Girón y Jubones. La sección más completa ocurre entre Narihuiña, donde el grupo se sienta en los basaltos de Bella Rica de la Unidad Cretácica Pallatanga y el páramo al Norte de Quinuas, cerca de Pucará.

7.4.9 Depósitos Cuaternarios

En la hoja que comprende la geología de la Cordillera Occidental de Ecuador entre 2°00' y 3°00'S, se menciona que aluviones están presente en todos los valles de los ríos y forma superficies muy extensas hacia la planicie costera y en la cuenca de Cuenca. Existen abanicos aluviales grandes donde los ríos principales descargan en la planicie costera y abanicos coluviales en áreas montañosas proclives a deslizamientos. Ocurren terrazas aluviales en los valles mayores, por ejemplo en el Valle del Chimbo al S de Pallatanga. Depósitos volcánicos cuaternarios (QV), principalmente consistentes de cenizas (cangagua), cubren grandes áreas en el NE y se extienden al S hasta Huigra.

En la hoja que comprende la geología de la Cordillera Occidental de Ecuador entre 3°00' y 4°00'S, menciona que zonas extensas a lo largo de los drenajes principales se encuentran cubiertas por terrazas aluviales. Por otro lado, en las partes bajas de la planicie costera las rocas Cretáceo Terciarias en su mayoría están cubiertas por depósitos aluviales.

Al E de Pasaje se han identificado depósitos de abanicos aluviales cubriendo el Grupo Saraguro. En la parte N de la parroquia Manú se presentan depósitos coluviales.

7.4.10 Rocas Intrusivas

La hoja que comprende la geología de la Cordillera Occidental de Ecuador entre 3°00' y 4°00'S hace referencia que gabros y microgabros con textura variolítica común, ocurren como parte de la Unidad Pallatanga. Cuarzo-dioritas y granodioritas/tonalitas están ampliamente esparcidas intruyendo las rocas metamórficas, las formaciones cretáceas, la Unidad Sacapalca y la parte baja del Grupo Saraguro.

Pratt et al. (1997), indican que los granitoides son generalmente de grano medio a grueso, a menudo presentan evidencia de enfriamiento brusco (tal como vidrio cloritizado intersticial y fino crecimiento granofírico y holocristalino), indicativo de un emplazamiento subvolcánico (alto nivel). Muchos de ellos, tales como Shangli, son parte de complejos que incluyen microgranodioritas y microdioritas. La intrusión mayor de Paccha que cubre un área de al menos 150 Km², y está localmente foliada, ha sido datada en 16.89±0.16 Ma (K/Ar). Una cuarzo-diorita al NE de Uzhcurrumi da una edad de 19.92± 0.18 Ma (K/Ar) y la granodiorita de Shangli da 17.64±0.61 Ma (K/Ar).

Stocks subvolcánicos de riolita afírica y andesita porfírica: Son comunes dentro del Grupo Saraguro y las formaciones más jóvenes. Están concentrados en el área de la inferida caldera Jubones y a lo largo del Cinturón Gañarín. Algunos pueden ser transicionales hacia domos, por ejemplo en Abañín. A lo largo de la carretera Santa Isabel-Pucará, una riolita brechada de hasta 300 m de espesor y con una longitud de 5 km puede representar un domo colapsado. Las intrusiones de riolita alrededor de Pachagmama son probablemente del Oligoceno Tardío a Mioceno Temprano; en contraste, aquellas dentro de la Caldera de Quimsacocha deben ser menores que 10 Ma porque intruyen a la Formación Turi. (CODIGEM – BGS, 1993)

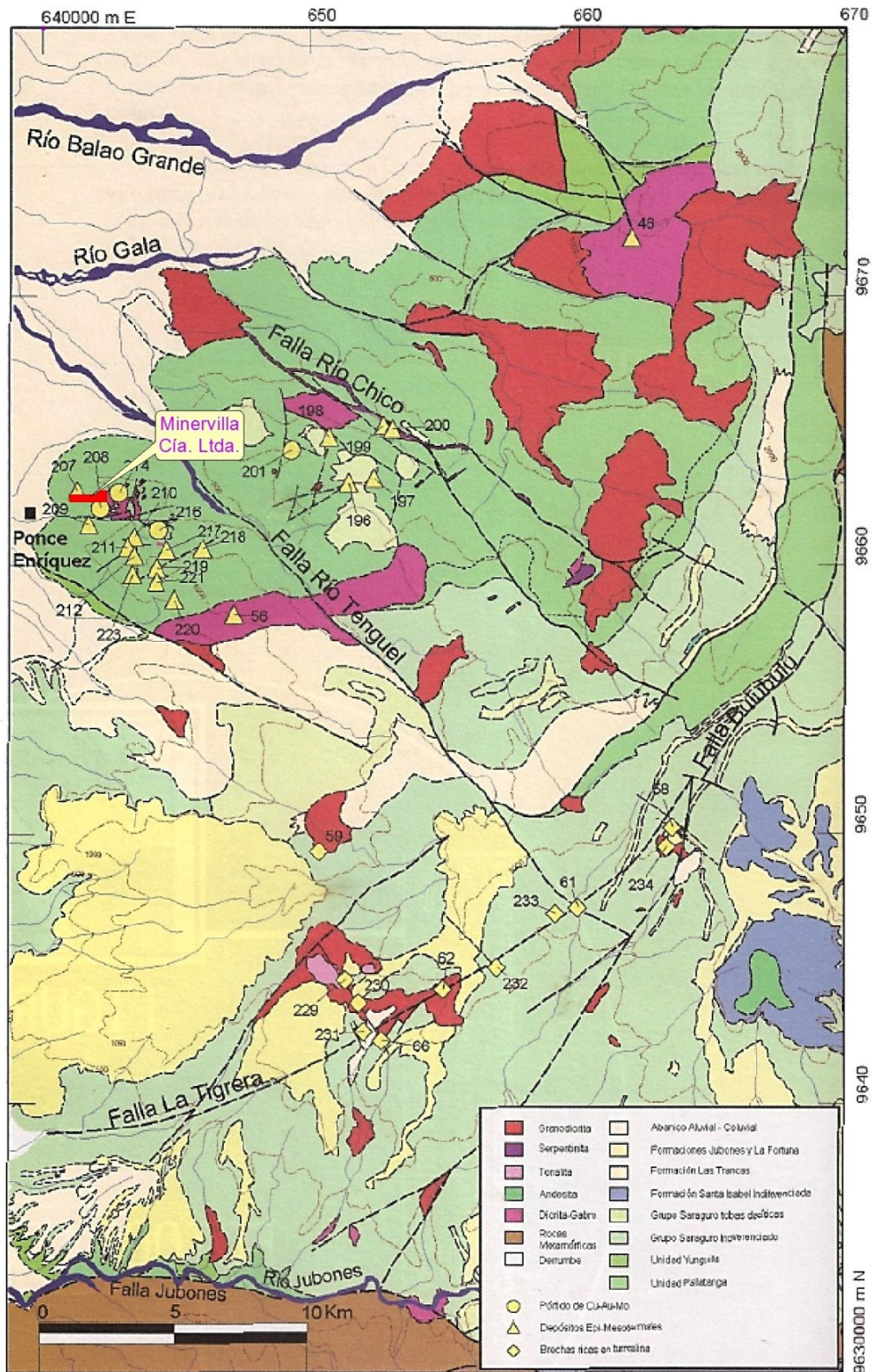


Figura 20. Mapa geológico simplificado del Distrito Azuay basado en los mapas geológicos del Subcomponente 3.3 - PICG (hojas 1 y 2 1:200000), y el mapa de la parte sur de la Cordillera Real a una escala 1:500000. (Litherland et al., 1994).

Fuente. Prodeminca: Evaluación de distritos mineros en el Ecuador: Vol. 4. p. 102.

7.4.11 Estructuras

En el estudio de ProdeMinca (2000), volumen 4, se considera que dentro del Distrito Azuay hay tres órdenes de fallas:

- Estructuras regionales de rumbo andino que representan límites de terrenos litotectónicos mayores y son el principal control de los patrones magmáticos, metalogenéticos y sedimentarios.
- Fallas transversales mayores de rumbos E-W y NW-SE que subdividen los terrenos en bloques caracterizados por diferentes niveles de erosión y por tanto determinan en gran medida la conservación de los sistemas mineralizantes.
- Estructuras subordinadas N-S, NE-SW y NNW-SSE que frecuentemente controlan la situación y/o alojan la mineralización.

Las zonas de falla de rumbo Andino o Cordillerano (NNE) de W a E son Pallatanga-Bulubulu, Girón y Baños.

El Cinturón de Gañarín, de dirección NE puede ser seguido desde Zaruma en el S hasta el centro volcánico de Quimsacocha. Comprende una serie de fallas sindeposicionales que ejercen un importante control del volcanismo regional y la metalogénesis. Esta estructura es paralela al segmento Cuenca-El Cisne del Sistema de Fallas de Girón y puede constreñir el lado W de la cuenca de Cuenca.

Las fallas transversales importantes de dirección E-W a ESE incluyen los sistemas de fallas de Piñas-Portovelo y Jubones en el Terreno Chaucha y Río Margarita, Río Tenguel, Río Chico y Quebrada Paredones en el Terreno Pallatanga. Otras fracturas E-W pasan a poca distancia al N del prospecto Beroen.

Ninguna de estas fallas de rumbo ESE dentro del Terreno Pallatanga en el NW del área parece tener un desplazamiento mayor y mueren rápidamente en los estratos del Grupo Saraguro más joven. La Falla de Río Chico, en el campo minero de San Gerardo, está rellena de serpentinita, y es interpretada como un cabalgamiento inicial vergente al NE que localizó posteriores movimientos subverticales sinestrales en dirección y extensión.

7.5 Geología Local

De acuerdo a las observaciones y caracterizaciones de 22 afloramientos expuestos principalmente en la red hídrica de la subcuenca del Río Villa se menciona que el área minera se emplaza en una zona que comprende en su totalidad rocas ígneas, en donde predominan las rocas volcánicas de composición basálticas. Existen además cuerpos porfídicos mismos que afloran más notoriamente en el Río Villa. Para la determinación de la geología local superficial se ha recorrido una red hídrica de aproximadamente 4 Km.

Se ha dividido al sector en 3 litologías bien diferenciadas de las cuales se tienen:

Basaltos: Se constituyen en las rocas que predominan en el sitio, ocupando el mayor porcentaje del área mapeada, caracterizados por poseer una textura afanítica y estructura masiva, con coloraciones grisáceas azuladas, verdes grisáceas y/o gris oscuro a negro, en el punto con coordenadas UTM/PSAD 56: 641531/9662390/268 y el punto correspondiente al Afloramiento AMV001, su coloración es verdosa, tratándose específicamente de basaltos de hornblenda alterados, presentando dicha coloración por influencia de epidota y/o clorita.

Hacia la parte SW del área, entre los afloramientos AMV002-AMV004, éstos se presentan muy meteorizados y presentan pequeñas vetillas de feldspatos alterados a caolín. El resto de afloramientos en donde se presentan se constituyen en una roca muy competente, en donde se presentan las estructuras mineralizadas que se han mapeado.

Las rocas basálticas que afloran en el río Villa presentan una ligera diseminación de pirita, la cual se intensifica conforme se avanza río arriba, así mismo su coloración se torna más oscura. En cuanto al grado de diaclasamiento es bajo, generalmente decimétrico, excepto en el punto con coordenadas UTM/PSAD 56: 642052/9662585/268, en donde se encuentran con un ligero diaclasamiento centimétrico, ver Fotografía 7.



Fotografía 7. Diaclasamiento centimétrico de los basaltos.
Fuente. Autor, 2016.

Los basaltos se presentan en toda el área mapeada, específicamente en los afloramientos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, en la parte inferior del afloramiento 10, en los afloramientos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22.

En los afloramiento 9, 10 así como en el punto con coordenadas UTM/PSAD 56: 642135/9662838/265 se encuentran en contacto con pórfido hornbléndico de composición diorítica, como se puede ver en la Fotografía 8.



Fotografía 8. Contacto entre basalto y diorita, cerca al afloramiento 09.

Fuente. Autor, 2016.

Debido al tamaño del grano de los basaltos es imposible determinar la mineralogía macroscópicamente, sin embargo, las rocas basálticas de los sectores que comprenden los afloramientos AMV009 – AMV010, cuentan con escasa mineralización de pirita diseminada, con cristales anhedrales y subhedrales.

Las vetas y vetillas se presentan en esta litología, las cuales se constituyen principalmente de cuarzo con sulfuros, con un elevado grado de oxidación, además entre los basaltos se han evidenciados pequeñas vetillas que podrían tratarse de aplitas, asociadas igualmente con sulfuros, principalmente pirita.

Pórfido hornbléndico diorítico: A manera de cuerpos irregulares de textura porfídica y composición diorítica, afloran tres cuerpos; dos en el río Villa (AMV009 y AMV010) y uno en la parte NE del área, en las cercanías del AMV014, en donde se presenta en el lecho de la quebrada y no se ha evidenciado contactos bien definidos.

Su formación es posterior a los basaltos descritos anteriormente ya que en los afloramientos AMV009 y AMV010 han dejado como evidencia pequeños xenolitos monolíticos.

La coloración de estas rocas es grisácea con un elevado coeficiente de fortaleza, en donde se presentan mayoritariamente inalterados. Su textura es porfídica, con cristales subhedrales, con fenocristales de hornblenda y plagioclasa.

El tamaño de las hornblendas en estos cuerpos va aumentando conforme se va avanzando río arriba, presentando cristales subhedrales y anhedrales de 2.3 mm de promedio en el afloramiento AMV009, en el afloramiento AMV010, los cristales de hornblenda son más desarrollados y se presentan en tamaño promedio de 3.00 mm. Finalmente en el punto con coordenadas UTM/PSAD 56: 642135/9662838/265 se presentan mayormente cristales euhedrales de hornblenda, con un tamaño promedio de 3.5 mm, además fenocristales de 1 cm.

En estas rocas también se evidencian otros minerales como cuarzo y plagioclasas, además presentan una buena atracción magnética.

En la fotografía 9 se muestra el afloramiento AMV010, se trata de un afloramiento caracterizado por comprender rocas de este tipo, con una textura porfídica con fenocristales de hornblenda, de coloración grisácea aunque superficialmente se encuentra cubierta por una capa que lo torna de una coloración amarillenta. Se evidencian claramente las hornblendas y presenta un elevado coeficiente de fortaleza. Numerosas diaclasas se evidencian en el macizo y de ellas la principal familia tiene un rumbo subparalelo al cauce del río. Se asume que una parte del río constituye el contacto con los basaltos ya que se ha podido evidenciar xenolitos en el lecho del río aunque con menor cantidad que en el afloramiento AMV009. La parte superior del afloramiento consta de clastos centimétricos a decimétricos que se unen a una matriz de suelo.



Fotografía 9. Toma de datos y descripción del afloramiento 10.

Fuente: Autor, 2016.

Se podría asumir que las rocas de los afloramientos AMV009 y AMV010 pertenecen al mismo pulso magmático que los generó, debido a su cercanía y composición mineralógica muy similar.

En la Fotografía 10 se puede apreciar los xenolitos monolíticos de basalto dentro del pórfido diorítico, esta fotografía corresponde al lecho del río Villa, en el afloramiento AMV009.



Fotografía 10. Xenolitos basálticos aprisionados en pórfido diorítico del afloramiento AMV009.

Fuente: Autor, 2016.

Cuarzoandesitas porfídicas de hornblenda: Presentes puntualmente en el afloramiento AMV001 en donde se evidencia un contacto de éstas rocas con basaltos de hornblenda alterados. El sector de afloramiento corresponde a una bocamina antigua de la mina Guayacán de Oro y que actualmente pertenece a Minervilla Cía. Ltda., en donde su acceso actualmente no es posible desde la superficie.

Macroscópicamente la cuarzoandesita presenta textura porfídica, de coloración gris claro verdoso, con presencia de plagioclasas y hornblendas, los cuales se encuentran rodeados de una matriz fina criptocristalina, rica en sílice.

Se ha podido evidenciar la presencia de pirita diseminada en esta roca, además una leve reacción con ácido clorhídrico. Se ha podido apreciar también un posible ligero reemplazamiento de hornblenda por pirita.

Una muestra de mano de esta roca se presenta en la Fotografía 11. No se han evidenciado otros afloramientos con esta litología, sin embargo entre los afloramientos AMV011 y AMV012 se ha evidenciado una pequeña labor artesanal abandonada donde han depositado muestras frescas de esta roca.

En el mapa no se puede distinguir debido a su tamaño reducido, sin embargo se asume que se trata de un dique el cual lleva una dirección NW.



Fotografía 11. Muestra de cuarzoandesita porfídica de hornblenda del afloramiento AMV001.

Fuente: Autor, 2016.

En el afloramiento AMV004 la roca no se encuentra fresca, sin embargo se asume que se trata de un pórfido feldespático el cual ha sido totalmente meteorizado. Así mismo, en el AMV008 se ha encontrado una roca más fresca con feldespato potásico pero debido a las condiciones del terreno y exuberante vegetación, se ha inferido su área de afloramiento.

En cuanto a estructuras presentes en superficie, se describen principalmente vetas y vetillas así como vetas en falla, cabe recalcar que las mineralizaciones encontradas se encuentran a lo largo de fracturas y/o fallas rellenas, lo cual constituye las vetas y vetillas que tienen en su totalidad rocas basálticas como caja.

En el recorrido por el área, entre vetas y vetillas bien definidas se han encontrado ocho ejemplares, mismos que se ubican en el mapa del Anexo 6, asimismo se han encontrado seis estructuras de veta en falla las cuales igualmente se presentan en el mapa.

La mayoría de estas estructuras mineralizadas han sido explotadas por personas que concurren al área en busca de oro que arrastra el río, en algunas de estas vetillas se han construido pequeñas galerías antitécnicas que no cuentan con la seguridad necesaria.

La mineralogía principalmente está asociada a cuarzo con sulfuros y oro en pequeñas cantidades, en donde la orientación preferencial de las vetillas va de Sureste a Noroeste y su potencia no sobrepasa los 10 cm. Las vetillas más potentes son las que comprenden material arcilloso con sulfuros diseminados y están relacionados a fallas.

La litología superficial y las estructuras principales se presentan en el Anexo 6, de igual forma las fichas de descripción de afloramientos se muestran en el Anexo 9.

En el Anexo 6 se presenta el mapa de geología superficial del área, el cual de acuerdo a las observaciones in situ, se puede evidenciar que la mayor parte del área comprende basaltos, mismos que encuentran intruidos por cuerpos porfídicos que se asume están relacionados al Pórfido Gaby.

Tres cuerpos de pórfido hornbléndico de composición diorítica han sido mapeados en el área: dos de ellos corresponde a los afloramientos AMV009 y AMV010, ubicados en el Río Villa, específicamente en la parte NW del área, otro cuerpo de similar litología ha sido mapeado a pocos metros de AMV014, al NE del área, el cual por su tamaño no es muy perceptible en el mapa, además no se ha descrito afloramiento debido a que aflora en el piso de una quebrada. De acuerdo a las observaciones in situ se asume que el contacto de estos cuerpos lo constituye el río Villa para AMV009 y AMV010 y la quebrada para el cuerpo ubicado a pocos metros del AMV014. Además se han ubicado en el mapa otros dos cuerpos cuya composición se asume es de pórfido feldespático, los cuales no han sido muy bien caracterizados por el grado de meteorización con el que se presentan, corresponden a los afloramientos AMV004 y AMV008. Un solo cuerpo de cuarzoandesita porfídica de hornblenda se ha encontrado dentro del área y debido a su tamaño es imperceptible en el mapa, se presenta en el afloramiento AMV001.

Por cuestiones de accesibilidad y vegetación exuberante en la parte Este y Sureste del área, se ha complementado con información del pórfido Gaby presentado por Prodeminsa (2000), en donde se muestra un cuerpo de pórfido feldespático y otro de pórfido hornbléndico, además dos brechas hidrotermales las cuales de igual manera por su tamaño son casi imperceptibles en el mapa.

Al Sureste además se presenta un cuerpo diseminado, perteneciente al pórfido Gaby principal, mismo que ha sido determinado por International Minerals Corporation en sus trabajos de exploración y cuya información ha sido facilitada por el personal técnico de Minervilla Cía, Ltda. y considerada en este mapa. En rocas in situ se ha podido determinar la textura porfídica en los puntos UTM/PSAD 56: 642456/9662663/313, 641971/9662361/387, 641980/9662363/389, 641982/9662353/390, 642006/9662377/387 y 642042/9662355/396. Así mismo se ha corroborado la presencia de brechas en los puntos UTM/PSAD 56: 642528/9662456/353 y 642534/9662465/356 sin embargo no existen afloramientos representativos, presentan gran meteorización y se exponen generalmente en quebradas.

7.5.1 Geología subterránea: Descripción de la litología en la galería principal de transporte

En este apartado se presenta con mayor detalle la litología y estructuras presentes, para ello se han tomado diez muestras de roca para la elaboración de láminas delgadas de las cuales; ocho corresponden a la galería principal de transporte, la cual se constituye como el área de estudio, además se ha tomado una muestra al extremo Sur de la veta Rosita y otra al extremo Sur de la veta Lupe con la finalidad de obtener información de estos sectores. La ubicación de los puntos de muestreo se aprecia en el Anexo 5.

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se ha descrito la geología subterránea la cual se distribuye de la siguiente manera:

Los primeros diecisiete metros a partir de la bocamina se tiene un túnel de hormigón con un ancho de 1.65 m., paredes de 1.70 m. y una altura central de 2.40 m., mismo que sirve como sostenimiento a la parte de mayor meteorización. Dadas estas condiciones, en este tramo no se pudo determinar la litología in situ, sin embargo se ha considerado la misma litología del tramo adyacente, es decir un basalto de hornblenda alterado, mismo que además se evidencia en superficie al lado derecho de la bocamina.

En la Fotografía 12 se muestra la bocamina del área minera Minervilla, donde se puede apreciar el túnel de hormigón.



Fotografía 12. Bocamina del área minera Minervilla.

Fuente: Autor, 2016.

Desde la bocamina hasta 145 metros, la litología corresponde a basaltos de textura afanítica, estructura masiva y una coloración gris verdoso a gris oscuro. Estos basaltos se encuentran en ciertos tramos con pequeñas intrusiones de epidota y/o feldespatos en forma de hilos o vetillas, se detallan a continuación.

En los primeros 67 metros la roca se encuentra fracturada y meteorizada en el techo y paredes, especialmente en la pared izquierda. Existe goteo de agua desde el techo y además las juntas presentan en su mayoría relleno de suelo, arcilla y/o feldespatos descompuestos.

En este tramo se tomó la muestra con código PMV-MR01, puntualmente a 27 metros de la bocamina y su litología corresponde a basalto de piroxeno y clinopiroxeno, presentándose en una coloración gris oscura a gris verdosa en donde se pueden evidenciar a simple vista pequeños cristales de piroxeno. En este tramo existe un ligero cambio en la composición de la roca, sin embargo no se ha determinado un contacto definido ya que igualmente corresponden a basaltos, ante ello se ha tomado la muestra PMV-MR02, puntualmente a 77 metros desde la bocamina y su litología corresponde a basalto de hornblenda alterado, esto considerando la cantidad de sílice (alrededor del 42.6% según ensayo FRX, lo cual se detalla en el Anexo 10) y estructuras que podrían tratarse de pillow lavas, caracterizados por presentarse en una coloración verde clara a gris verdosa.

A los 145 y a los 155 metros desde la bocamina se evidencia un contacto entre basalto y cuarzoandesita porfídica de hornblenda, constituyéndose ésta como una roca ígnea volcánica de textura porfídica y coloración verde y que podría tratarse de un dique.

Se evidencian fenocristales de hornblenda y otros minerales como cuarzo y plagioclasas. Tiene un contacto irregular y sinuoso y existe una leve alteración de la roca en ciertas diaclasas con relleno de feldespatos descompuestos y/o calcita. Se ha muestreado este tramo y corresponde a la muestra PMV-MR03.

Posterior a ello se ha mapeado un basalto de hornblenda alterado, coloración verdosa, textura afanítica de grano fino y estructura masiva, esporádicamente con ocurrencias de hilos de epidota y/o pequeños cristales de piroxeno, aquí se ha tomado la muestra PMV-MR04, este tipo de roca se extiende hasta los 209 metros desde la bocamina ya que aquí se encuentra un dique de once metros de potencia y cuya roca es una cuarzo diorita de hornblenda caracterizada por poseer una textura fanerítica inequigranular holocristalina y estructura masiva. Este dique se extiende hasta los 220 metros desde la bocamina, en este tramo se ha tomado la muestra PMV-MR05. Se pueden apreciar minerales como piritita, magnetita, epidota, cuarzo y plagioclasas.

A partir de 220 metros desde la bocamina la litología comprende basaltos de hornblenda alterados hasta que a los 335 metros se encuentra un contacto bien definido entre el basalto y una dacita porfídica de hornblenda, además en este tramo se presenta una falla de tipo dextral. El basalto entre 220 y 247 metros desde la bocamina se puede apreciar ligeras estructuras tipo pillow.

Desde los 335 hasta los 344 metros desde la bocamina, se presenta un dique de dacita porfídica de hornblenda, en donde la mayor parte de la roca se ve inalterada, presenta una tonalidad clara con fenocristales de hornblenda que son características de esta roca, se ha muestreado y corresponde la muestra PMV-MR 06.

A partir de los 344 hasta los 357 metros se evidencia basaltos de hornblenda con gran silicificación, aproximadamente a 356 metros desde la bocamina el macizo se encuentra con un vetilleo a manera de stockwork con contenido de oro y un elevado coeficiente de fortaleza, además se evidencia que las vetillas contienen carbonatos y minerales de hierro debido a su magnetismo, específicamente se asume que se trata de pirrotina.

Pasada esta zona de stockwork se encuentra un cuerpo de cuarzo diorita de hornblenda y en cuyos bordes del contacto se ha visualizado mineralización de sulfuros, esta litología está presente en siete metros, hasta 365 metros desde la bocamina y se presume que se trata de un dique, aunque su contacto es sinuoso e irregular y no se ha evidenciado su prolongación hacia la galería de la veta Milagro.

Desde los 365 hasta los 410 metros desde la bocamina la litología se constituye de basalto de hornblenda el cual se caracteriza por poseer una textura afanítica, color gris oscuro y escasa presencia de pirita, además se han encontrado pequeñas vetillas de calcita. Estos basaltos por su granulometría no se puede observar su mineralogía a simple vista, por lo que específicamente a 385 metros desde la bocamina se ha tomado una muestra, la cual corresponde al código PMV-MR07.

Desde los 410 hasta los 432 metros desde la bocamina se evidencia un cuerpo de cuarzo diorita de hornblenda y se presume que se trata de un dique, como en el caso anterior, su contacto es sinuoso e irregular y no se ha evidenciado su prolongación hacia la galería de la veta Milagro. En este tramo se ha evidenciado una vetilla bien formada de cuarzo de escasa potencia que tiende a perderse hacia la parte Este del área. A diferencia de la muestra PMV-MR05, se evidencia mayor cantidad de epidota y un coeficiente de fortaleza elevado.

A partir del tramo descrito anteriormente se vuelve a la litología de basaltos de hornblenda hasta los 617 metros de galería, caracterizados por su coloración gris oscura a negra, con textura afanítica de grano fino, con presencia de vetillas milimétricas de carbonatos y el magnetismo es muy fuerte, se puede evidenciar la presencia de abundante pirita, especialmente en forma de hilos o vetillas distribuidas caóticamente y rellenando algunas diaclasas, acompañadas esporádicamente por cuarzo. En esta litología se ha tomado una muestra de roca y corresponde a la muestra PMV-MR08.

Este tramo comprende una brecha cuyos clastos pudieron haber sido remplazados en parte por sílice y en parte por arcilla. Así mismo comprende las vetas Lupe, Azul y Rosita.

Finalmente dos láminas delgadas elaboradas con muestras de roca de la parte Sur de la veta Lupe y de la parte Sur de la veta Rosita indican la presencia de Cuarzo-andesita con alteración propílica y Dacita respectivamente. Estas rocas están relacionadas al Pórfido Gaby y corresponden a las muestras PMV-MR09 y PMVM-R10 respectivamente.

Luego de describir la galería principal de transporte se ha complementado el trabajo con información del resto de galerías, así se tiene que:

La galería de la Veta Milagro está dominada por basaltos de hornblenda alterados, un pequeño dique de cuarzo diorita de hornblenda, mismo que se presenta también en la galería principal de transporte, además existen dos sectores cuya roca corresponde a dacita porfídica de hornblenda, uno de éstos sectores; que corresponde a EM7 en la topografía, sería el mismo dique que aflora en la galería principal de transporte, el otro sector donde se encuentra esta litología es al frente de esta labor.

En la galería que conduce desde la veta Milagro hasta la galería principal de transporte se presentan principalmente basaltos de hornblenda, además un cuerpo de cuarzo-andesita. Los basaltos se encuentran meteorizados a pocos metros para llegar a la intersección con la galería principal de transporte y se ha evidenciado caída de material desde el techo. El cuerpo de cuarzo-andesita no presenta continuidad hacia la galería principal de transporte.

En la galería de la Veta Lupe se presentan hacia el NW de la galería principal de transporte, basaltos de hornblenda que se constituyen en la roca encajonante de la veta, la cual posee un buzamiento subvertical y no presenta problemas de estabilidad, no así en la galería que se dirige hacia la veta Rosita ya que aquí se presenta la roca encajonante muy alterada.

La veta azul comprende hacia el NNW de la galería principal de transporte, gran alteración, asimismo silicificación, lo cual se asume que es producto de los fluidos hidrotermales que han afectado este sector, además de constituirse en una zona de falla.

La roca encajonante en la labor SE de la veta Lupe se encuentra alterada, además presenta una zona de falla la cual genera caído de material desde el techo. Al extremo de la galería de la Veta Lupe se encuentra una cuarzo-andesita con alteración propílica, en donde la veta va cambiando de dirección y disminuyendo su potencia y contenido mineral, además se presenta una zona cuya litología lo constituye un pórfido muy alterado pero con contenido mineral de Au y Ag.

La galería de la Veta Rosita se encuentra dominada por rocas basálticas, excepto en el extremo SE, en donde su litología se constituye de dacita. Presenta distintos grados de alteración, en donde la dacita comprende mayoritariamente un macizo sano, sin embargo, la veta empieza a cambiar de dirección, disminuir su potencia, su contenido mineral y tiende a perderse. Toda esa descripción se presenta en el mapa del Anexo 7.

7.5.1.1 Descripción macroscópica de las muestras de roca

En los Cuadros 5 – 14, se describe macroscópicamente la litológica de las muestras de roca tomadas en la mina.

Cuadro 5. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 27 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR01	<p style="text-align: center;">Fotografía</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 13.</i> Muestra de roca tomada a 27 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica.	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris oscuro a gris verdoso con cristales negros de piroxeno.	
Mineralogía	Piroxeno, epidota en forma de hilos.	
Granulometría	Grano fino.	
Nombre de la Roca	Basalto de piroxeno y clinopiroxeno.	
Observaciones	Elevado coeficiente de fortaleza. Vetilla de epidota.	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 6. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 77 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR02	<p style="text-align: center;">Fotografía</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 14.</i> Muestra de roca tomada a 77 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris verdoso.	
Mineralogía	Por su tamaño de grano no se puede determinar su mineralogía a simple vista sin embargo se observan ciertos piroxenos.	
Granulometría	Grano fino.	
Nombre de la Roca	Basalto de hornblenda alterado.	
Observaciones	Efervescencia leve con HCl al 7.3 %	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 7. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 147 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR03	<div style="text-align: center;">Fotografía</div>  <p><i>Fotografía 15.</i> Muestra de roca tomada a 147 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Color	Verde grisáceo.	
Mineralogía	Cuarzo, hornblenda, plagioclasas, pirita.	
Granulometría	Granos minerales finos, medios y gruesos en matriz de sílice.	
Nombre de la Roca	Cuarzo-andesita porfídica de hornblenda.	
Observaciones	Efervescencia leve con HCl al 7.3 %	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 8. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 180 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR04	<div style="text-align: center;">Fotografía</div>  <p><i>Fotografía 16.</i> Muestra de roca tomada a 180 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris verdoso.	
Mineralogía	Por su tamaño de grano no se puede determinar su mineralogía a simple vista sin embargo se observa epidota en forma de hilos.	
Granulometría	Grano fino.	
Nombre de la Roca	Basalto de hornblenda alterado.	
Observaciones	Efervescencia leve con HCl al 7.3 % Se puede observar claramente la epidota.	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 9. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 213 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR05	<div style="text-align: center;"> Fotografía  </div> <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 17.</i> Muestra de roca tomada a 213 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Plutónica	
Textura	Fanerítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris claro con manchas verdes y negras.	
Mineralogía	Cuarzo, hornblenda, calcita, piritita, epidota y clorita.	
Granulometría	Granos minerales finos, medios y gruesos.	
Nombre de la Roca	Cuarzo diorita de hornblenda.	
Observaciones	Pequeñas alteraciones a arcillas.	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 10. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 342 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR06	<div style="text-align: center;"> Fotografía  </div> <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 18.</i> Muestra de roca tomada a 342 metros de la bocamina.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Hipabisal	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Color	Grisáceo blanquecino	
Mineralogía	Cuarzo, hornblenda, plagioclasas, piritita	
Granulometría	Granos minerales finos, medios y gruesos en matriz de cuarzo	
Nombre de la Roca	Dacita porfídica de hornblenda	
Observaciones	Matriz de cuarzo	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 11. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 385 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR07	<div style="text-align: center;">Fotografía</div> 
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris oscuro.	
Mineralogía	Por su tamaño de grano no se puede determinar su mineralogía a simple vista.	
Granulometría	Grano fino.	
Nombre de la Roca	Basalto de hornblenda.	
Observaciones	Coloración superficial in situ rojiza debido a oxidación de minerales de hierro. Presenta bajo magnetismo.	
Fuente: Autor, 2016.		

Fotografía 19. Muestra de roca tomada a 385 metros de la bocamina.

Cuadro 12. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada a 617 metros de la bocamina

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR08	<div style="text-align: center;">Fotografía</div> 
Tipo de Roca	Ígnea – Volcánica	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris oscuro a negro.	
Mineralogía	Por su tamaño de grano no se puede determinar su mineralogía a simple vista sin embargo se observa pirita en forma de hilos.	
Granulometría	Grano fino.	
Nombre de la Roca	Basalto de hornblenda.	
Observaciones	Cruce de vetillas de pirita por todo el macizo rocoso. En la muestra de mano se puede apreciar una vetilla cuarzo y varias de pirita, dispuestas desordenadamente. Presenta un fuerte magnetismo.	
Fuente: Autor, 2016.		

Fotografía 20. Muestra de roca tomada a 617 metros de la bocamina.

Cuadro 13. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada al Sur de la veta Lupe

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA		
Código de Muestra	PMV-MR09	<p style="text-align: center;">Fotografía</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 21.</i> Muestra de roca tomada al Sur de la veta Lupe.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Hipabisal	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Color	Verde oscuro.	
Mineralogía	Cuarzo, plagioclasas, epidota, pirita.	
Granulometría	Granulometría variada: Granos minerales finos, medios y gruesos.	
Nombre de la Roca	Cuarzo-andesita con alteración propílica.	
Observaciones	Vetillas de pirita, cuarzo.	
Fuente: Autor, 2016.		

Cuadro 14. Descripción macroscópica de la muestra de roca tomada al Sur de la veta Rosita

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE VETA		
Código de Muestra	PMV-MR10	<p style="text-align: center;">Fotografía</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fotografía 22.</i> Muestra de roca tomada al Sur de la veta Rosita.</p>
Tipo de Roca	Ígnea – Hipabisal	
Textura	Porfídica	
Estructura	Masiva	
Color	Gris blanquecino con manchas negras.	
Mineralogía	Cuarzo, pirita, turmalina?.	
Granulometría	Grano fino y medio.	
Nombre de la Roca	Dacita.	
Observaciones	Pequeñas vetillas de cuarzo y minerales oscuros radiales que podrían tratarse de turmalina.	
Fuente: Autor, 2016.		

7.5.1.2 Descripción microscópica de las muestras de roca

A las rocas descritas macroscópicamente en el apartado anterior se les ha realizado un análisis microscópico mediante láminas delgadas (servicio solicitado a la Universidad Técnica Particular de Loja, ver Anexo 10), ante lo cual se ha podido determinar que el tipo de roca que predomina en la galería principal de transporte es el basalto, ocupando aproximadamente el 89% del total de la galería y el resto se distribuye entre cuarzoandesitas, cuarzodioritas y dacitas.

En la lámina delgada de la muestra PMV-MR01 correspondiente a un Basalto de piroxeno y clinopiroxeno, se puede observar claramente la textura afanítica de la roca con la presencia de plagioclasas, clorita y ortopiroxeno. Todos los minerales blancos son plagioclasas, la clorita se muestra verde en nicoles paralelos mientras que su baja birrefringencia la hace ver grisácea con los nicoles cruzados. Los Ortopiroxenos se muestran teñidos de limonita y por eso se ven amarillentos y semi-opacos. La mayoría de piroxenos se han meteorizado levemente a limonitas, lo cual se refleja en una tinción leve de color naranja al ver estos minerales en nicoles paralelos (LPNA). La clorita reemplaza al clinopiroxeno que es escaso ya que se encuentra muy alterado.

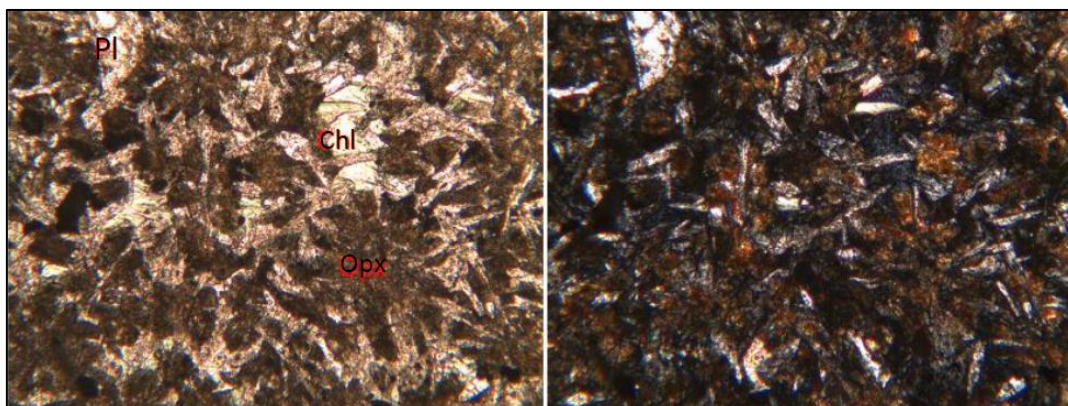


Figura 21. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR01. Se aprecia la textura afanítica de la muestra en nicoles paralelos (izquierda) y cruzados (derecha) a 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR01).

La muestra PMV-MR02 corresponde a una basalto de hornblenda alterado, tomando este nombre debido a su bajo contenido de sílice (42.6%) y a observaciones in situ que sugieren la presencia de estructuras pillow lavas. En la lámina delgada se puede apreciar la textura afanítica – equigranular – hipidiomórfica. Las plagioclasas están dispuestas al azar en la roca y muestran macla de Carlsbad.

Se evidencian pequeñas vetillas de epidota-calcita-magnetita-pirita. En los alrededores de una vetilla, algunos anfíboles parecen haber sido alterados a cloritas de hábito acicular.

Según el informe de la lámina delgada, ésta se encuentra muy fina por eso los minerales aparecen de colores de interferencia más bajos de lo habitual: los carbonatos (Cal) con colores de tercer orden, la epidota (Ep) de amarillo y naranja de primer orden y la hornblenda (Hbl) de amarillo – crema de primer orden.

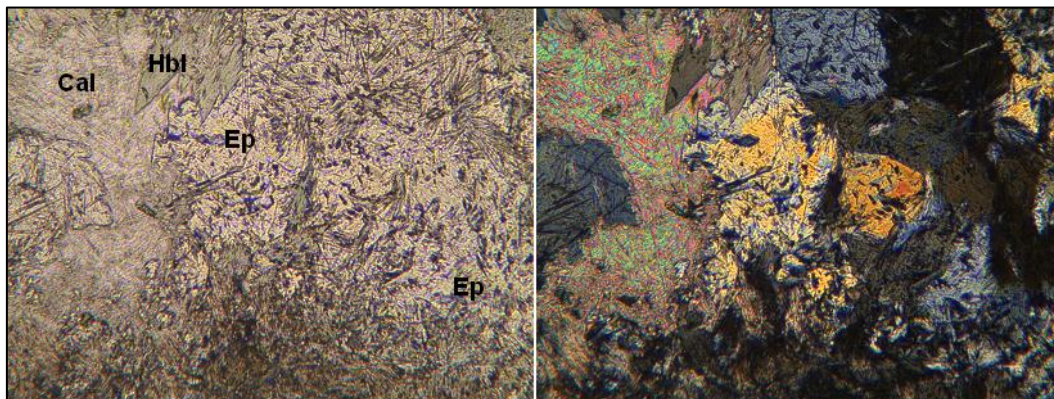


Figura 22. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR02. Detalle de una vetilla. En LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 200 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR02).

En la lámina delgada de la muestra PMV-MR03 correspondiente a una Cuarzo-andesita porfídica de hornblenda se puede apreciar una textura porfídica con una matriz criptocristalina de sílice con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y cristales hexagonales de cuarzo.

Además se observa alteración por fluidos hidrotermales teniendo reemplazamientos de plagioclasas por carbonatos, hornblenda por clorita, epidota y anómalamente piritita. Además, existe la deposición de piritita en la roca. Por la mineralogía de la alteración: Clorita-Epidota-Carbonatos se puede afirmar que la alteración que ha sufrido la roca es propilítica.

En la Figura 23 se aprecia la textura porfídica de la roca con fenocristales tabulares de plagioclasa (blanca y gris) en una matriz criptocristalina de sílice.

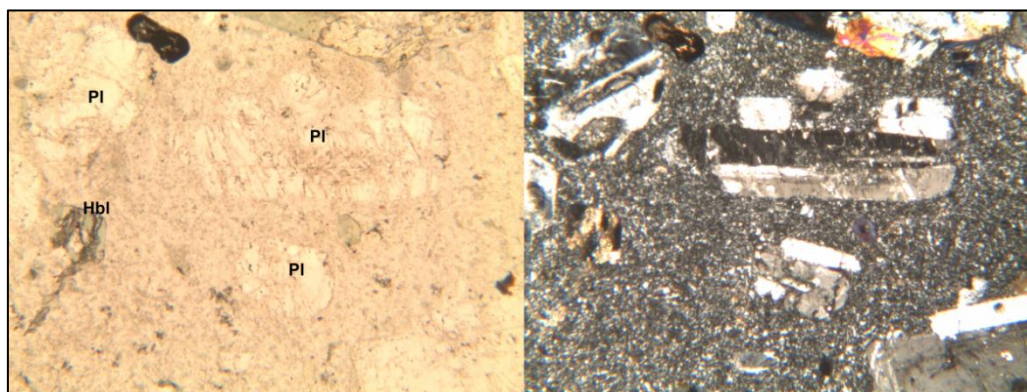


Figura 23. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR03. LPNA (izquierda) y LPA (derecha) a 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR03).

En la lámina delgada de la muestra PMV-MR04 correspondiente a un basalto de hornblenda alterado se evidencia una textura afanítica – equigranular – hipidiomórfica. La roca se compone básicamente de plagioclasas con predominio de oligoclasa y feldespatos alcalinos de sodio y potasio, entre los más importantes están la albita y la ortoclasa. Las plagioclasas no se han alterado, no así los anfíboles aparecen relativamente opacos en LPNA debido a la presencia de limonita, algunos de ellos se ven alterados a clorita.

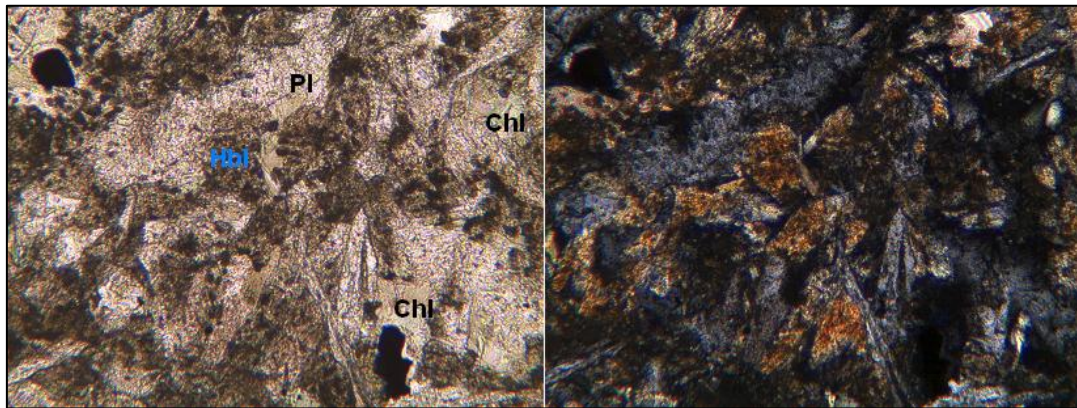


Figura 24. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR04. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), a 100 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR04).

La muestra PMV-MR05 corresponde a una cuarzo diorita de hornblenda que presenta una textura fanerítica – alotriomórfica – inequigranular donde todos los cristales están dispuestos al azar.

Las plagioclasas son relativamente más grandes que el resto de minerales. En su mayoría son labradoritas (40% de todas las plagioclasas) y también existen andesinas (30%) y oligoclasas (30%), puede existir bytownita.

En cuanto a alteración existen cloritas y carbonatos que no son primarios, al parecer reemplazando anfíboles. Las plagioclasas se encuentran muy alteradas y fracturadas, entre estas fisuras se han desarrollado arcillas. En la Figura 25, a excepción del cuarzo que ha sido indicado, todo lo gris en LPA son plagioclasas.

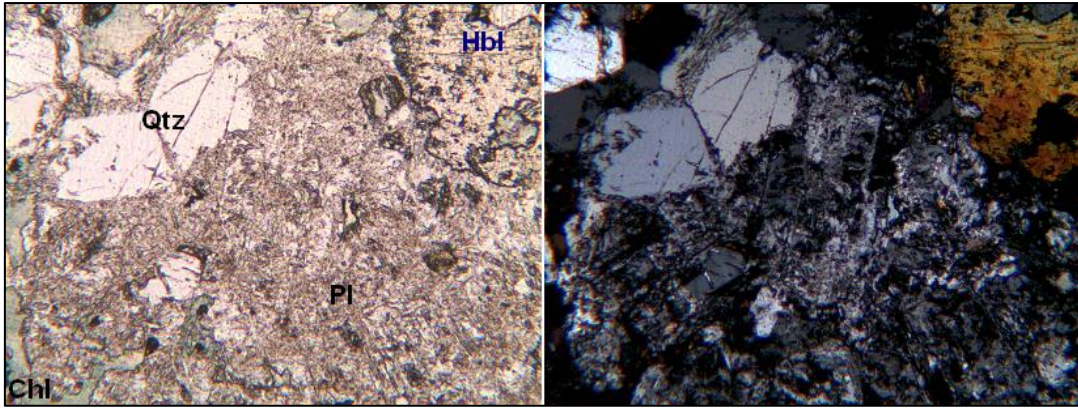


Figura 25. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR05. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR05).

En la lámina delgada de la muestra PMV-MR06 correspondiente a una dacita porfídica de hornblenda se evidencia claramente la textura porfídica en donde la matriz de la roca está compuesta principalmente de cuarzo y en menor cantidad plagioclasas cálcicas (andesina y anortita). Los fenocristales de la roca son hornblendas, albitas y en su mayoría oligoclasa.

En cuanto a alteración, la mayor parte de la roca se ve inalterada; pero el ingreso de fluidos hidrotermales ha provocado el reemplazamiento de los anfíboles por pirita y en menor cantidad sericita y clorita.

En la Figura 26 se puede apreciar claramente la textura porfídica de la roca, se notan visiblemente los cristales bien formados de hornblenda con su típica exfoliación a casi 120° y 60°



Figura 26. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR06. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR06).

La lámina delgada de la muestra PMV-MR07 corresponde a un basalto de hornblenda, mismo que presenta una textura afanítica – equigranular – hipidiomórfica. Se observan principalmente feldespatos y anfíboles. El cuarzo está ausente en la roca, solo aparece en una vetilla. La mayoría de feldespatos son alcalinos, con predominio de albita.

En la Figura 27 se aprecia un anfíbol en la parte superior, muestra colores grises de primer orden debido a que se ha alterado a clorita.

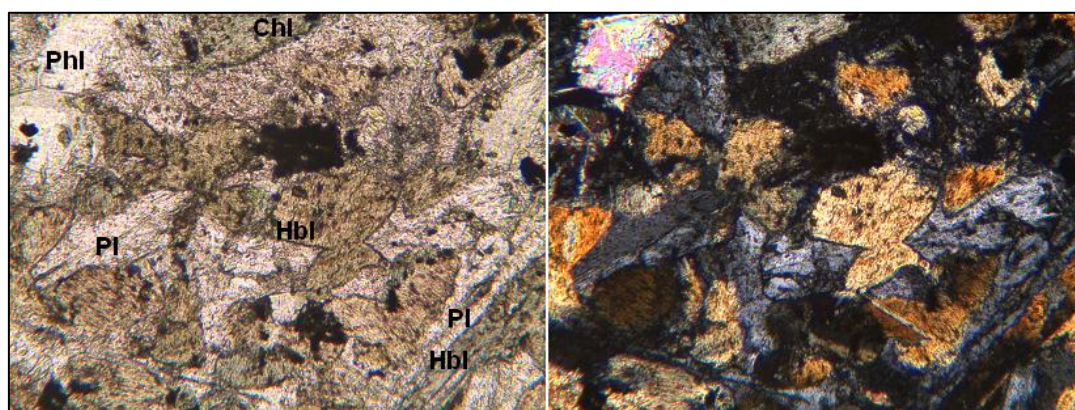


Figura 27. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR07. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 100 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR07).

La lámina delgada de la muestra PMV-MR08 corresponde a un basalto de hornblenda, mismo que presenta una textura afanítica, en donde las plagioclasas y las hornblendas son equigranulares entre sí, mientras que los minerales opacos son de grano muy fino. En la Figura 28 se puede observar: Hornblenda (Hbl), plagioclasas (Pl) y minerales opacos que componen esta roca.

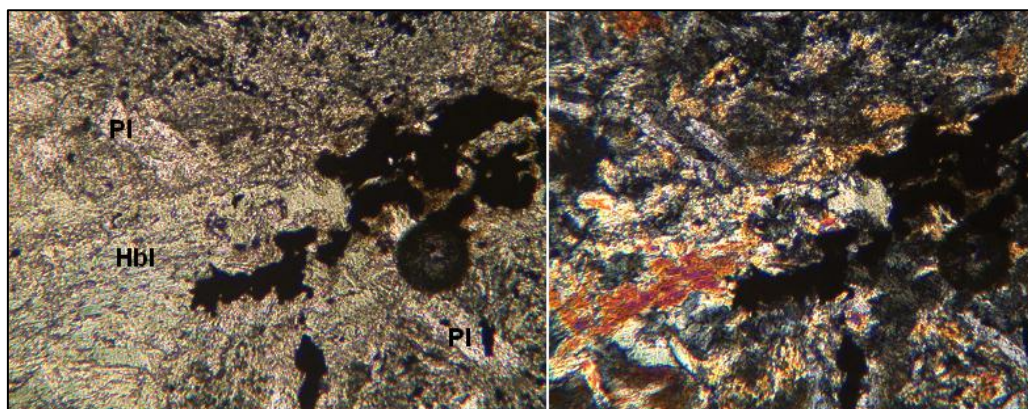


Figura 28. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR08. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 100 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR08).

La lámina delgada de la muestra PMV-MR09 corresponde a una Cuarzo-andesita con alteración propílica, presenta textura pórfido-afanítica con una matriz estrictamente silíceo (cuarzo) que conforma el 43% de toda la roca.

Además, existen también fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato alcalino y de silicatos ferromagnesianos ahora alterados a epidota y clorita. Existe alteración Hidrotermal Propílica sin alteración de plagioclasas. Se pueden apreciar fenocristales de plagioclasa y cuarzo en una matriz silícea. La matriz está conformada por cristales anhedrales de cuarzo. En la Figura 29 se puede observar la microfotografía correspondiente a esta muestra.

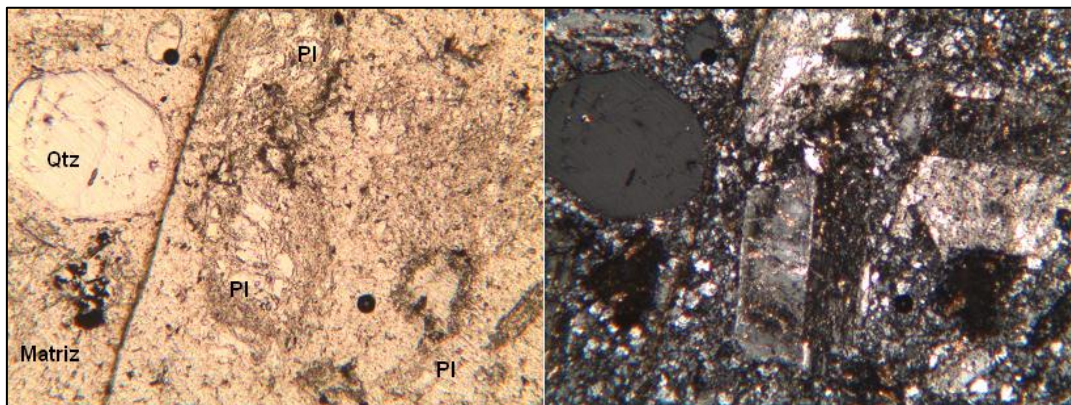


Figura 29. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR09. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR09).

La lámina delgada de la muestra de la muestra PMV-MR10 correspondiente a una dacita presenta una textura porfídica. La matriz consta de cristales de anhedrales de cuarzo. Como fenocristales están plagioclasas.

En cuanto a alteración no se han identificado silicatos máficos, aunque sí clorita en pequeñas cantidades. Los feldespatos se encuentran alterados a arcillas. En la Figura 30 se puede observar la microfotografía correspondiente a esta muestra.

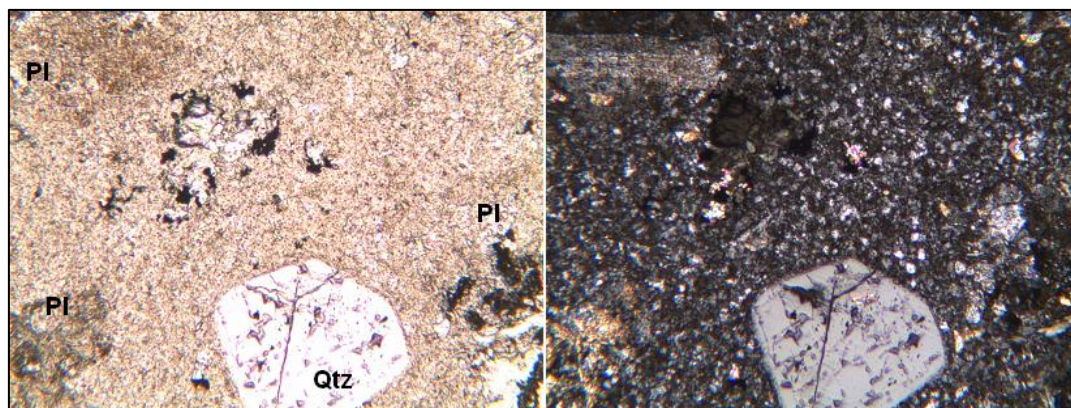


Figura 30. Microfotografía de la lámina delgada de la muestra PMV-MR10. LPNA (izquierda) y LPA (derecha), 50 aumentos.

Fuente: González B. David, 2016. (Interpretación de la muestra PMV-MR10).

7.5.2 Estructuras y Mineralización

Las estructuras que se han encontrado en el área de estudio corresponden a fallas, vetas, vetillas, diques, fracturas y diaclasas, además de un pequeño cuerpo a manera de stockwork con mineralización de Au y Ag.

Las fallas encontradas corresponden a fallas de tipo normal y laterales con un buzamiento medio a alto.

Dadas las condiciones in situ, las vetas se han interpretado como rellenos de fallas preexistentes, las cuales controlan la mineralización al constituirse como el camino de circulación de los fluidos mineralizantes.

En el estudio de Prodeminca en el año 2000 se menciona que el Campo Mineral de Ponce Enríquez está situado dentro del Subdistrito Máchala – Naranjal, en la parte occidental del Distrito Azuay, es conocido por sus depósitos de Cu-Au-Mo en pórfidos y en vetas, brechas y "stockworks" epi-mesotermales desarrollados dentro de las rocas de caja volcánicas y que están espacialmente relacionados con pórfidos.

Tomando en cuenta la mineralogía, el área se encuentra dentro de una zona de epitermal de baja sulfuración y la mineralización explotable se distribuye principalmente en vetas, las cuales llevan una dirección preferencial al NW y se describen en los párrafos posteriores.

Dentro de la galería principal de transporte se ha identificado las siguientes estructuras:

A 38 metros de la bocamina se evidencia una falla con rumbo sub paralelo al eje de la galería, cuyo plano de falla lo constituye la pared izquierda de la galería. Presenta un buzamiento subvertical, relleno de arcilla y se extingue en la veta "La Suca", presenta indicadores cinemáticos (estrías) que sugieren un movimiento de tipo normal. No mantiene un rumbo constante, especialmente en la parte donde se une con la veta. Además no está acompañada de mineralización.

Debido a las condiciones de la galería, hasta los 67 metros desde la bocamina el macizo rocoso se encuentra más fracturado y diaclasado y se evidencia goteo de agua desde el techo, además a mayoría de las diaclasas presentan relleno de material arcilloso. Estas condiciones se justifican por comprender la zona de mayor meteorización y tener una leve sobrecarga de suelo, por lo cual se asume que una cierta cantidad de este material se ha introducido por las fracturas del macizo.

A partir de los 67 metros en adelante, el macizo se encuentra más sano, el goteo desde el techo desaparece y las juntas ya no se encuentran rellenas de suelo, sin embargo algunas discontinuidades se encuentran rellenas de calcita y/o feldespatos y pequeñas intrusiones de epidota en forma de hilos.

La primera veta es la denominada “La Suca”, ubicada a 67 metros desde la bocamina con una potencia promedio de 30 centímetros y se caracteriza por ser una falla rellena por material arcilloso, se evidencia calcita y pequeñas cantidades de sulfuros (principalmente piritita), mismos que han sido observados al realizar platoneo. Presenta un azimut promedio de 206° y un buzamiento de 35° NW. Según análisis de laboratorio¹ tiene una ley de 7.6 g/Tm de Au y 7.7 g/Tm de Ag. La alteración argílica en esta veta es bien marcada dando coloraciones blanquesinas a amarillentas. Actualmente no se han desarrollado labores de explotación.

A partir de la bocamina hasta los 260 metros existe la presencia de algunas vetillas de feldespatos con epidota, clorita, magnetita y/o calcita, la magnetita se encuentra como masas hojosas entre los carbonatos, otras vetillas más delgadas, generalmente milimétricas, están constituidas únicamente de epidota y generalmente son subverticales. Además se presentan estructuras las cuales se han interpretado como pillow lavas. De aquí en adelante no se presentan vetillas de epidota.

Con el apoyo de una lupa de 30 aumentos y con una muestra de estas vetillas se ha podido identificar cristales prismáticos y radiales de epidota con su típica coloración verdosa.

A 259 metros desde la bocamina se encuentra la segunda veta, denominada “Milagro”, con una potencia promedio de 12 centímetros y 435 metros de longitud aproximadamente. Sin embargo en este punto se constituye en una pequeña falla de tipo normal con presencia de material arcilloso y de potencia centimétrica cuyo azimut inicia con 315° y un buzamiento de 89° SW, a veinte metros esta vetilla se une con otra vetilla para formar la veta propiamente dicha, siguiendo un azimut y longitud promedio de 276° y 182 m. respectivamente, para seguidamente tomar un azimut promedio de 295° hasta el frente de la labor, a 236 m., la veta presenta un buzamiento pronunciado entre 64°- 80° NE. Actualmente se ha culminado la fase de explotación de esta veta aunque quedan reservas hacia la parte inferior, las cuales se prevé explotar en un futuro.

¹ Todos los datos de resultados de laboratorio en todas las vetas han sido proporcionados por el personal técnico de Minervilla Cía. Ltda.

La mineralización de mena lo constituye la pirita, magnetita, oro y plata mientras que la mineralogía de ganga lo constituye la calcita y el cuarzo, entre otros. Hacia el Sureste, siguiendo el rumbo de la veta los valores de oro disminuyen, de manera similar ocurre hacia la parte superior, según los resultados obtenidos en el laboratorio JV en el sector El Pache – Portovelo de una muestra tomada en el extremo Sur de la veta, se reporta un resultado de 3 g/Tm de Au y 40.40 g/Tm de Ag, sin embargo en tramos anteriores donde se ha realizado la explotación se ha indicado que el contenido mineral es mayor. La principal estructura que se presenta en esta veta es una falla de rumbo postmineralización, de 30 centímetros de potencia promedio, la cual desplaza la veta aproximadamente 8 metros con un azimut de 55°, contiene fragmentos angulosos de roca encajante dacítica, misma que corresponde a la muestra de roca PMV-MR06. Además existe una vetilla de cuarzo con estibina y calcita de 4 centímetros de potencia al frente de la labor.

A 356 metros de la bocamina se localiza una zona mineralizada a manera de stockwork cuya roca se encuentra silicificada, presentando un elevado coeficiente de fortaleza, se pueden apreciar sulfuros diseminados, principalmente pirita, además de pequeños hilos o venillas de pirrotina en el cuerpo mineralizado. Según los resultados de ensayos de laboratorio aplicados a dos muestras se han presentado valores de oro entre 7.467 y 16.025 g/Tm.

A 472 metros desde la bocamina se encuentra una falla de aproximadamente un metro de potencia, la cual tiene un azimut de 85° hacia el SE, en donde se han podido identificar indicadores cinemáticos como son las estrías y escalones de falla, los cuales sugieren que corresponde a una falla de tipo normal con una componente sinistral.

Se presenta a manera de brecha silicificada, la cual se constituye como una estructura rellena por material hidrotermal; básicamente sílice, en donde es probable que los clastos de la brecha hayan sido remplazados, en parte por sílice y en parte por arcilla.

La tercera veta es la denominada “Lupe”, ubicada a 504 m de la bocamina la cual tiene 10 centímetros de potencia y lleva un azimut entre 115° – 125°, con un buzamiento fuertemente inclinado entre 75° y 80° hacia el Suroeste. Caracterizada por ser una veta cuyos minerales de mena lo constituyen: pirita, calcopirita, pirrotina, bornita, oro y plata principalmente y minerales de ganga se ha identificado al cuarzo. Se ha explorado y explotado una longitud de aproximadamente 120 metros y según ensayos de laboratorio se han reportado resultados de oro entre 13.716 y 50.643 g/Tm.

Junto a la veta Lupe, se encuentra la veta “Azul”, la cual se constituye en una brecha hidrotermal silicificada que presenta un elevado coeficiente de fortaleza. Su potencia es muy variable, teniendo un promedio de 30 centímetros al Noroeste de la galería principal.

Posee una longitud explorada y explotada de aproximadamente 35 metros y un rumbo preferencial NNE-SSE con buzamientos no mayores a 45° hacia el Suroeste. Es caracterizada por contener clastos angulosos y algunos subredondeados, milimétricos a centimétricos, los cuales no presentan alineamientos en alguna dirección preferencial, muchos de ellos presentan una envolvente de sílice, el mismo que en determinados puntos está asociado a carbonatos (calcita), los cuales presentan un bandeamiento.

Los minerales de mena identificados corresponden a oro, plata, estibina y como minerales de ganga se encuentran: sílice y carbonatos (calcita, dolomita y/o aragonito).

La estibina es el mineral que predomina y se presenta en forma masiva y en cristales alargados, además en lugares donde existen cavidades se han formado pequeños cristales alargados, aciculares presentándose a manera de finas agujas teniendo una dureza baja y brillo metálico. Esta veta tiene un halo de alteración de unos 40 centímetros de potencia promedio el cual se presenta con escasa pirita diseminada y en determinados puntos en forma de hilos entrecruzados y su dureza disminuye en relación a la veta propiamente dicha ya que posee una alteración argílica.

In situ y en ciertas muestras de mano se ha podido observar pequeñas chispas de oro. Además, datos de laboratorio dan como resultado valores de oro entre 1.436 a 34.05 g/Tm y de plata entre 0.35 a 109.4 g/Tm, esto hacia la parte NNW de la galería principal de transporte y valores de oro entre 3.324 a 25 g/Tm y de plata entre 0.207 a 121.7 g/Tm hacia la parte SE.

Este sector se encuentra en una zona de falla, mismo que junto a los fluidos hidrotermales, se asume que son los responsables de la notablemente alteración en algunas partes del macizo rocoso. La falla presenta un azimut de 159° y un buzamiento de 42° hacia el Suroeste.

A 570 metros de la bocamina se encuentra la veta "Rosita" con 25 centímetros de potencia, rica en sulfuros, emplazada en rocas basálticas y una dirección tendencial NW-SE con buzamientos muy pronunciados, en promedio de 85° hacia el Suroeste. Los minerales de mena lo constituyen: pirita, calcopirita, escasa pirrotina misma que no se evidencia en toda la veta sino que es puntual en algunas muestras, oro y plata; mientras que entre los minerales de ganga se encuentran el cuarzo, que se constituye como la matriz de la veta y la calcita. Esta veta hacia el Sureste y hacia la parte superior pierde potencia y disminuye el contenido de oro. Datos de laboratorio dan como resultado valores de oro entre 2.649 a 60.349 g/Tm y de plata entre 1.027 a 71.85 g/Tm. El cuarzo en determinados puntos se presenta a manera de microdrusas con cristales hexagonales transparentes, así mismo la pirita se encuentra en cristales cúbicos y octaédricos.

Viendo el comportamiento de las vetas Milagro, Lupe y Rosita se ha llegado a la conclusión que conforme éstas se acercan al pórvido, van cambiando ligeramente su rumbo y disminuyendo las leyes de oro, ante lo cual no es factible una explotación en estos sectores.

A 601 metros desde la bocamina se encuentra una falla con un azimut de 106° y un buzamiento de 46° hacia el Suroeste, de una potencia no mayor a los 40 centímetros y carente de mineralización.

Considerando las direcciones de las estructuras mineralizadas en Minervilla, se puede mencionar que éstas se correlacionan con las estructuras regionales correspondientes a fallas transversales mayores de rumbos E-W y NW-SE, así mismo, debido a la exuberante vegetación del sector no se ha podido encontrar en superficie las estructuras que se presentan en la galería principal de transporte, ni en las otras labores subterráneas, sin embargo las condiciones geomecánicas de la galería principal a 472 m. de la bocamina pueden deberse a la presencia de una quebrada de bajo caudal que se ubica en superficie, misma que sería la causante del goteo de agua que se presenta en subterráneo.

Además, dadas las condiciones de topografía se prevé que existan problemas de estabilidad más adelante, conforme se avance con las perforaciones, esto mientras se vayan pasando las quebradas que se encuentran en superficie, mismas que pueden hacer que el macizo se presente meteorizado, más agrietado y con mayor presencia de agua.

7.6 Caracterización del Macizo Rocoso

Para ello se ha dividido la galería principal de transporte en 34 tramos (Ver Anexo 8), en donde se han realizado las caracterizaciones geomecánicas mediante la obtención del índice RMR en base a la clasificación de Bieniawski, 1989. Los primeros diecisiete metros corresponden al túnel de hormigón, por ello no se ha podido determinar la calidad del macizo rocoso, sin embargo al corresponder a una zona de alta meteorización se asume una calidad Mala; similar al tramo 1. Los resultados para cada tramo se detallan en los cuadros 15 – 48.

El primer tramo caracterizado comprende una distancia de diez metros en una litología de basalto de hornblenda alterado, corresponde a un macizo de mala calidad y sus características geomecánicas se detallan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Caracterización del macizo rocoso del primer tramo

Número de caracterización geomecánica	001	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	243.52	8.13
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	2
Meteorización	Altamente meteorizada	1
Agua subterránea	Goteando	4
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20°- 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉	49	
RMR₈₉ Corregido	39	
RMR₈₉ Condiciones secas	60	
Clase de roca	IV	
Descripción de la calidad	Mala	
Cohesión del macizo rocoso	1 – 2 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	15° - 25°	
GSI	55	
Fuente: Autor, 2017		

El segundo tramo comprende una distancia de quince metros en una litología de basalto de piroxeno y clinopiroxeno en donde se evidencia que el Índice RMR aumenta, esto debido a que por ejemplo las condiciones de humedad mejoran, proporcionando una mejor calidad al macizo. Las características geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Caracterización del macizo rocoso del segundo tramo

Número de caracterización geomecánica	002	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	170.00	7.42
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	2
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 45°- 90°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	58	
RMR₈₉ Corregido	53	
RMR₈₉ Condiciones secas	63	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	58	
Fuente: Autor, 2017		

El tercer tramo comprende una distancia de quince metros en un macizo de basalto de hornblenda alterado, en donde se puede apreciar que de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades, especialmente a la disposición de la familia principal, el índice RMR disminuye ligeramente respecto al tramo anteriormente descrito. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Caracterización del macizo rocoso del tercer tramo

Número de caracterización geomecánica	003	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	80.88	15.87
Espaciado de las discontinuidades (mm)	138.00	7.10
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20°- 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉	59	
RMR₈₉ Corregido	49	
RMR₈₉ Condiciones secas	64	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 – 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	59	
Fuente: Autor, 2017		

El cuarto tramo comprende una distancia de diez metros, presenta la influencia de la veta “La Suca”, la cual corresponde a una falla, presentando material arcilloso y una mayor presencia de agua respecto a los tramos adyacentes, lo cual hace que el índice RMR disminuya, esto se detalla en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Caracterización del macizo rocoso del cuarto tramo

Número de caracterización geomecánica	004	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	80.88	15.87
Espaciado de las discontinuidades (mm)	200.00	7.71
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Blando < 5 mm	2
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Goteando	4
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20°- 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉	52	
RMR₈₉ Corregido	42	
RMR₈₉ Condiciones secas	63	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 – 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	58	
Fuente: Autor, 2017		

Estas cuatro primeras caracterizaciones comprenden un macizo rocoso de basalto que varía entre basalto de hornblenda alterado y basalto de piroxeno y clinopiroxeno, evidenciándose además un diferente grado de alteración, esto debido a que corresponden a la zona de mayor meteorización, además se encuentran afectados por dos fallas de tipo normal, de las cuales la falla que corresponde a la veta La Suca es la que mayor influencia tiene, esto debido a su disposición en contra del sentido del avance de la galería, su potencia, el goteo permanente de agua y el material blando que rellenan las discontinuidades.

A partir de los 67 metros desde la bocamina las condiciones del macizo cambian debido a que se atraviesa la zona afectada por la veta-falla “La Suca”, existen dos familias de discontinuidades bien definidas y el factor más importante es que el macizo se encuentra seco.

El quinto tramo abarca una longitud de sesenta y siete metros en un macizo del mismo tipo de roca que los tramos anteriores, es decir, de basalto que varía entre basalto de hornblenda alterado y basalto de piroxeno y clinopiroxeno, con presencia de pequeñas vetillas especialmente de feldespatos con epidota, pirita, magnetita y calcita. Además se evidencian sectores donde se asume que su textura es de tipo pillow. En este sector se encuentran dos familias de diaclasas bien definidas.

Cuadro 19. Caracterización del macizo rocoso del quinto tramo

Número de caracterización geomecánica	005	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	115.88	6.88
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	< 0.1	5
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 20°- 45°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	68	
RMR₈₉ Corregido	63	
RMR₈₉ Condiciones secas	68	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	63	
Fuente: Autor, 2017		

En el sexto tramo caracterizado tiene once metros de distancia y la roca corresponde a un basalto de hornblenda alterado en donde se puede evidenciar una ligera disminución del índice RMR, sin embargo igualmente se categoriza como un macizo Clase II, esto se detalla en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Caracterización del macizo rocoso del sexto tramo

Número de caracterización geomecánica	006	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	115.88	6.88
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 20°- 45°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	66	
RMR₈₉ Corregido	61	
RMR₈₉ Condiciones secas	66	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	61	
Fuente: Autor, 2017		

El séptimo tramo comprende un macizo de cuarzoandesita porfídica de hornblenda de diez metros de potencia el cual se comporta de una manera estable, sus diaclasas se encuentran con espaciado decimétrico.

Las características geomecánicas se las detalla en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Caracterización del macizo rocoso del séptimo tramo

Número de caracterización geomecánica	007	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Cuarzoandesita porfídica de hornblenda	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	199.68	13.93
RQD (%)	93.84	18.69
Espaciado de las discontinuidades (mm)	316.07	8.81
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 20°- 45°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	72	
RMR₈₉ Corregido	67	
RMR₈₉ Condiciones secas	72	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	67	
Fuente: Autor, 2017		

El octavo tramo comprende una longitud de diez metros y su litología vuelve a constituirse de basalto de hornblenda alterado con la presencia de tres familias de discontinuidades con un set bien definido y dos de ellas son aleatorias, pese a esto, sigue perteneciendo a un macizo de Clase II.

Las características geomecánicas se detallan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Caracterización del macizo rocoso del octavo tramo

Número de caracterización geomecánica	008	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	135.00	7.07
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Ligeramente alterada	5
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 20°- 45°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	67	
RMR₈₉ Corregido	62	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El noveno tramo caracterizado comprende una longitud de ocho metros de un macizo de basalto de hornblenda alterado, delimitado por dos fracturas subverticales rellenas de arcilla, distinguiéndose el caolín, además de carbonatos.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Caracterización del macizo rocoso del noveno tramo

Número de caracterización geomecánica	009	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	66.26	12.93
Espaciado de las discontinuidades (mm)	80.00	6.52
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Blando < 5mm	2
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance a favor del buzamiento: 45°- 90°	0
RESULTADOS		
RMR₈₉	57	
RMR₈₉ Corregido	57	
RMR₈₉ Condiciones secas	62	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	57	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo tramo igualmente está constituido de basalto de hornblenda alterado con presencia de vetillas de epidota, además se ha evidenciado una leve reacción de la roca al ácido clorhídrico al 7.3%. Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo Clase II.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Caracterización del macizo rocoso del décimo tramo

Número de caracterización geomecánica	010	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	500.00	10.44
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance a favor del buzamiento: 45°- 90°	0
RESULTADOS		
RMR₈₉	71	
RMR₈₉ Corregido	71	
RMR₈₉ Condiciones secas	71	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	66	
Fuente: Autor 2017		

El onceavo tramo caracterizado comprende una longitud de trece metros de un macizo de basalto de hornblenda alterado ligeramente agrietado.

Se constituye como un macizo Clase II, es decir de Buena Calidad. La disposición sub vertical de la principal familia de discontinuidades hace que en el ajuste del índice RMR se reduzca doce puntos, sin embargo por el espaciamiento entre diaclasas y las condiciones hidrogeológicas, éste no se torna inestable.

La caracterización geomecánica del presente tramo se detalla en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Caracterización del macizo rocoso del onceavo tramo

Número de caracterización geomecánica	011	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	87.81	17.35
Espaciado de las discontinuidades (mm)	530.00	10.69
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45°- 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉	74	
RMR₈₉ Corregido	62	
RMR₈₉ Condiciones secas	74	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	69	
Fuente: Autor, 2017		

El doceavo tramo caracterizado comprende una distancia de diecisiete metros y su litología corresponde a un basalto de hornblenda alterado mismo que presenta las condiciones necesarias para categorizar al macizo como Clase II.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Caracterización del macizo rocoso del doceavo tramo

Número de caracterización geomecánica	012	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	150.00	7.22
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Ninguno	6
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra buzamiento: 45°- 90°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉	68	
RMR₈₉ Corregido	63	
RMR₈₉ Condiciones secas	68	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	63	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo tercer tramo caracterizado comprende un macizo de cuarzo diorita de hornblenda de once metros de potencia, el cual se asume que se trata de un dique hipabisal, mismo que también se presenta en una de las galerías de la Veta Milagro.

Las condiciones geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Caracterización del macizo rocoso del décimo tercer tramo

Número de caracterización geomecánica	013	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Cuarzo diorita de hornblenda	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	161.07	12.66
RQD (%)	93.84	18.69
Espaciado de las discontinuidades (mm)	312.14	8.77
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Blando < 5 mm	2
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉	67	
RMR₈₉ Corregido	57	
RMR₈₉ Condiciones secas	72	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	67	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo cuarto tramo caracterizado comprende un macizo de veintisiete metros de longitud constituido de basalto de hornblenda alterado, se evidencian texturas las cuales se asume que son de tipo pollow, además de pequeñas vetillas de epidota con feldespatos.

Las características geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Caracterización del macizo rocoso del décimo cuarto tramo

Número de caracterización geomecánica	014	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	157.50	7.30
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	< 0.1	5
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Ninguno	6
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45°- 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉	75	
RMR₈₉ Corregido	63	
RMR₈₉ Condiciones secas	75	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	70	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo quinto tramo caracterizado comprende una longitud de cuarenta y cinco metros de un macizo de basalto de hornblenda alterado, en este tramo se encuentra la veta Milagro por lo cual podría asumirse que es la causante de la leve disminución del índice RMR, dando como consecuencia un macizo de Clase III, esto debido a condiciones como: el estado de humedad del macizo, la disposición desfavorable de la principal familia, entre otros factores.

Los parámetros empleados para la caracterización geomecánica de este tramo se detallan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Caracterización del macizo rocoso del décimo quinto tramo

Número de caracterización geomecánica	015	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	87.81	17.35
Espaciado de las discontinuidades (mm)	216.54	7.87
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉	63	
RMR₈₉ Corregido	53	
RMR₈₉ Condiciones secas	68	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	63	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo sexto tramo caracterizado comprende una longitud de diecisiete metros en una litología de basalto de hornblenda alterado en donde se presenta una falla de muy baja potencia, subvertical y con relleno de arcilla, sus indicadores cinemáticos como son las estrías y escalones de falla sugieren que corresponde a una falla de tipo dextral, esto se asume que favorece las condiciones para que el macizo reduzca su índice RMR y presente un macizo de Clase III.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Caracterización del macizo rocoso del décimo sexto tramo

Número de caracterización geomecánica	016	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	90.98	18.05
Espaciado de las discontinuidades (mm)	246.67	8.16
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Blando < 5mm	2
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45° - 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉	62	
RMR₈₉ Corregido	50	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

La caracterización del décimo séptimo tramo da como resultado un macizo de Clase III, el cual comprende una longitud de nueve metros de basalto de hornblenda alterado, a diferencia del tramo anterior, se encuentra menos fracturado ya que cuenta con una sola familia de discontinuidades bien definida, sin embargo su espaciado es menor, lo que da un RQD levemente menor al tramo 16.

Las características geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Caracterización del macizo rocoso del décimo séptimo tramo

Número de caracterización geomecánica	017	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	87.81	17.4
Espaciado de las discontinuidades (mm)	187.50	7.6
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 – 3	4
Abertura (mm)	0.1 - 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 45° - 90°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	65	
RMR₈₉ Corregido	60	
RMR₈₉ Condiciones secas	70	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	65	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo octavo tramo caracterizado comprende una longitud de ocho metros en un macizo cuya litología corresponde a un basalto de hornblenda alterado, las condiciones que presenta la principal familia de diaclasas condicionan para tener un macizo rocoso de Clase III.

Las características geomecánicas de este tramo caracterizado se detallan en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Caracterización del macizo rocoso del décimo octavo tramo

Número de caracterización geomecánica	018	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	168.00	7.40
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance a favor del sentido del buzamiento 20° - 45°	-2
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	60	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El décimo noveno tramo caracterizado comprende una distancia de nueve metros en un macizo de basalto de hornblenda alterado, el cual presenta las condiciones necesarias para constituirse como un macizo de Clase III.

Las características geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 33.

Cuadro 33. Caracterización del macizo rocoso del décimo noveno tramo

Número de caracterización geomecánica	019	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.05
RQD (%)	84.42	16.68
Espaciado de las discontinuidades (mm)	164.44	7.36
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5 mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	52	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

En el vigésimo tramo caracterizado la litología cambia a dacita porfídica de hornblenda, misma que presenta una textura porfídica, esto ocurre en una distancia de nueve metros por lo cual se asume que se trata de un dique hipabisal el cual se encuentra prácticamente inalterado y se presenta igualmente en el sector de la falla que desplaza a la Veta Milagro al NE.

Las características geomecánicas de este tramo se detallan en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo tramo

Número de caracterización geomecánica	020	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Dacita porfídica de hornblenda	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	78.44	7.9
RQD (%)	87.81	17.35
Espaciado de las discontinuidades (mm)	210.00	7.81
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance a favor del sentido del buzamiento 20° - 45°	- 2
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	60	
RMR₈₉ Corregido	58	
RMR₈₉ Condiciones secas	65	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	60	
Fuente: Autor, 2017		

Posterior al dique, la litología cambia a basalto de hornblenda, el cual se presenta con una elevada resistencia, este sector caracterizado comprende en la pared derecha una zona mineralizada a manera de stockwork en el cual se encuentra alteración por silicificación.

El grado de fracturamiento disminuye con respecto al tramo anterior, presentando dos familias de discontinuidades, las diaclasas se encuentran con una muy baja apertura conteniendo una pátina de calcita como relleno en ciertas diaclasas.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo primer tramo

Número de caracterización geomecánica	021	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	87.81	17.35
Espaciado de las discontinuidades (mm)	147.50	7.20
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	Nada	6
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Ninguno	6
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	66	
RMR₈₉ Corregido	56	
RMR₈₉ Condiciones secas	71	
Clase de roca	II	
Descripción de la calidad	Buena	
Cohesión del macizo rocoso	3 - 4 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	35° - 45°	
GSI	66	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo segundo tramo lo conforma una cuarzo diorita de hornblenda, presente en siete metros de distancia, pudiendo tratarse de un dique hipabisal el cual contiene mineralización de sulfuros principalmente en la zona de contacto con los basaltos.

Se asume que la interacción de estos sulfuros con el agua ha hecho que el macizo esté cubierto de una fina capa de óxidos de coloración anaranjada.

Su grado de fortaleza es elevado y el de fracturamiento es bajo, entre las diaclasas se ha podido identificar pequeños rellenos de calcita.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo segundo tramo

Número de caracterización geomecánica	022	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Cuarzo diorita de hornblenda	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	161.07	12.66
RQD (%)	90.98	18.05
Espaciado de las discontinuidades (mm)	280.00	8.47
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	1
Rugosidad	Lisa	3
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	64	
RMR₈₉ Corregido	54	
RMR₈₉ Condiciones secas	69	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	64	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo tercer tramo, con una distancia de veintitrés metros está conformado por un basalto de hornblenda de coloración gris oscura, igualmente cubierto de óxidos.

Se encuentra ligeramente más fracturado con respecto al vigésimo primer tramo caracterizado y entre las diaclasas se ha podido identificar calcita.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo tercer tramo

Número de caracterización geomecánica	023	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	166.00	7.38
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	52	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo cuarto tramo caracterizado comprende la misma litología del tramo 23, sin embargo al encontrarse nuevas orientaciones de las familias de diaclasas se ha realizado otra caracterización. De manera similar, entre las diaclasas se encuentra un relleno de calcita.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 38.

Cuadro 38. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo cuarto tramo

Número de caracterización geomecánica	024	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	190	7.61
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 45° - 90°	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	57	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo quinto tramo lo conforma una cuarzo diorita de hornblenda, presente en treintaidós metros de distancia, en este cuerpo se ha identificado una escasa mineralización de sulfuros diseminados principalmente en la zona de contacto.

La interacción de estos sulfuros con el agua ha hecho que el macizo esté cubierto de una fina capa de óxidos, lo cual le da una coloración anaranjada.

Su grado de fortaleza es elevado y el fracturamiento va de centimétrico a decimétrico, entre las diaclasas se ha podido identificar pequeños rellenos de calcita.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III.

La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 39.

Cuadro 39. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo quinto tramo

Número de caracterización geomecánica	025	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Cuarzo diorita de hornblenda	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	161.07	12.66
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	185.71	7.57
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	57	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo sexto tramo lo conforma un macizo de basalto hornblenda, presente en veintinueve metros de distancia. El macizo a partir de este tramo presenta piritita diseminada, lo cual, como en el tramo anterior interacciona con el agua haciendo que el macizo se cubra de una fina capa de óxidos, mismos que dan una coloración anaranjada al macizo.

Presenta un elevado coeficiente de fortaleza y el fracturamiento se mantiene similar al tramo anterior. En ciertas diaclasas se ha podido identificar pequeños rellenos de calcita.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 40.

Cuadro 40. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo sexto tramo

Número de caracterización geomecánica	026	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	188.33	7.60
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	52	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo séptimo tramo comprende una longitud de once metros en una litología de basalto de hornblenda, afectado por una falla de aproximadamente un metro de potencia, la cual tiene un rumbo subparalelo al eje de la galería, en donde se han podido identificar indicadores cinemáticos como son las estrías y escalones de falla, los cuales sugieren que corresponde a una falla de tipo normal con una componente sinistral.

Presenta un relleno conformado por una brecha silicificada, la cual se constituye como una estructura rellena por material hidrotermal; básicamente sílice, en donde es probable que los clastos de la brecha hayan sido remplazados, en parte por sílice y en parte por arcilla.

La arcilla especialmente se evidencia en el techo y piso de la estructura, la cual se presenta a manera de veta. Se han podido identificar entre minerales de mena a la pirita, calcopirita y bornita principalmente y como minerales de ganga al cuarzo, calcita y arcillas.

Además las condiciones hidrogeológicas en este sector presentan agua infiltrada por esta estructura, todo esto contribuye a que el macizo reduzca su índice RMR y presente un macizo de Clase III, en los límites con la clase IV. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 41.

Cuadro 41. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo séptimo tramo

Número de caracterización geomecánica	027	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	73.58	14.37
Espaciado de las discontinuidades (mm)	161.11	7.33
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	10 – 20	1
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Muy rugosa	6
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Muy meteorizada	1
Agua subterránea	Mojado	7
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45° - 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	53	
RMR₈₉ Corregido	41	
RMR₈₉ Condiciones secas	61	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	56	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo octavo tramo comprende una longitud de veinte metros en una litología de basalto de hornblenda. La falla descrita en el tramo anterior ya no afecta este tramo, sin embargo se ha podido observar que existe un cuerpo a manera de veta, subhorizontal y de veinte centímetros de potencia promedio, muy alterada y presenta desprendimiento desde el techo, pese a esto las condiciones del macizo mejoran ya que por ejemplo se evidencia menor grado de humedad con respecto al tramo anterior.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 42.

Cuadro 42. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo octavo tramo

Número de caracterización geomecánica	028	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	142.50	7.15
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	< 0.1	5
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	58	
RMR₈₉ Corregido	53	
RMR₈₉ Condiciones secas	63	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	58	
Fuente: Autor, 2017		

El vigésimo noveno tramo caracterizado comprende una longitud de diez metros en una litología de basalto de hornblenda el cual prácticamente no muestra alteración y se presenta de un color gris oscuro, además se evidencia un ligero incremento en la cantidad de pirita diseminada.

Este sector comprende la intersección de la galería principal de transporte con la galería que conecta con la veta Milagro, al SW y con la galería que conecta con la Veta Lupe, al NE.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 43.

Cuadro 43. Caracterización del macizo rocoso del vigésimo noveno tramo

Número de caracterización geomecánica	029	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	84.42	16.62
Espaciado de las discontinuidades (mm)	258.33	8.27
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45° - 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	64	
RMR₈₉ Corregido	52	
RMR₈₉ Condiciones secas	64	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	59	
Fuente: Autor, 2017		

El trigésimo tramo caracterizado comprende una longitud de veinticinco metros en una litología de basalto de hornblenda. Este tramo se ve afectado por dos tipos de estructuras: una Falla de aproximadamente un metro de potencia y por dos vetas: La veta Lupe y la Veta Azul, el macizo se encuentra muy alterado. Se ha encontrado carbonato de calcio en forma de calcita y/o aragonito bandeado. Este tramo además se ha visto afectado por fluidos hidrotermales relacionados con la Veta Azul, presentando una alteración argílica.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 44.

Cuadro 44. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo tramo

Número de caracterización geomecánica	030	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	252.50	8.21
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Muy meteorizada	1
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	62	
RMR₈₉ Corregido	52	
RMR₈₉ Condiciones secas	62	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	57	
Fuente: Autor, 2017		

El trigésimo primer tramo caracterizado comprende una longitud de diez metros en una litología de basalto de hornblenda. En este tramo se cambia la dirección de la galería principal de transporte, el macizo presenta un elevado grado de fortaleza y el fracturamiento disminuye levemente con respecto al tramo anterior.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 45.

Cuadro 45. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo primer tramo

Número de caracterización geomecánica	031	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	80.88	15.87
Espaciado de las discontinuidades (mm)	192.50	7.64
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro < 4mm	4
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo perpendicular al eje/Avance contra sentido del buzamiento 20° - 45°	-10
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	67	
RMR₈₉ Corregido	57	
RMR₈₉ Condiciones secas	67	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 – 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	62	
Fuente: Autor, 2017		

El trigésimo segundo tramo caracterizado comprende una longitud de veinticinco metros en una litología de basalto de hornblenda. El macizo presenta un elevado grado de fortaleza y el fracturamiento va de centimétrico a decimétrico, prácticamente se encuentra inalterado ya que no existe decoloración ni óxidos en la superficie del mismo. Las diaclasas se encuentran rellenas de pirita, también se encuentra una venilla de calcita subvertical.

Debido a las condiciones y disposición de la principal familia de diaclasas, se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III. La caracterización geomecánica de este tramo se detalla en el Cuadro 46.

Cuadro 46. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo segundo tramo

Número de caracterización geomecánica	032	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	73.58	14.37
Espaciado de las discontinuidades (mm)	121.25	6.93
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	10 – 20	1
Abertura (mm)	0.1 – 1.0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Duro <5mm	4
Meteorización	Inalterada	6
Agua subterránea	Seco	15
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	64	
RMR₈₉ Corregido	59	
RMR₈₉ Condiciones secas	64	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	59	
Fuente: Autor, 2017		

El trigésimo tercer tramo caracterizado comprende una longitud de treinta metros en una litología de basalto de hornblenda. El macizo presenta un mayor grado de fracturamiento con respecto al tramo anterior, se evidencian las siguientes estructuras; Fallas: una subhorizontal y una subparalela al eje de la galería. Vetas: Veta Rosita y una vetilla similar a la Veta Azul.

La falla subhorizontal está presente en el techo de la galería y desciende por las paredes de la misma, evidenciándose desprendimiento de material, el cual se encuentra muy meteorizado y alterado. La falla subvertical tiene una potencia promedio de cuarenta centímetros.

Se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III, lo cual se detalla en el Cuadro 47.

Cuadro 47. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo tercer tramo

Número de caracterización geomecánica	033	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	69.90	13.64
Espaciado de las discontinuidades (mm)	108.00	6.80
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	1 – 5	1
Rugosidad	Lisa	1
Relleno	Duro < 5mm	4
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Buzamiento 0°-20° independiente del rumbo	-5
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	52	
RMR₈₉ Corregido	47	
RMR₈₉ Condiciones secas	57	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	52	
Fuente: Autor, 2017		

El trigésimo cuarto y último tramo caracterizado comprende una distancia de quince metros en una litología de basalto de hornblenda, el macizo se encuentra alterado.

Las estructuras encontradas corresponden a tres vetillas de baja potencia, una subvertical en la cual se evidencia un ligero desplazamiento normal, está compuesta de cuarzo y sulfuros y dos vetillas de estibina similares a la veta Azul, una subhorizontal y una subvertical.

La zona presenta pequeños desprendimientos desde el techo de material suelto, éste material ha sido alterado a limo – arcilla, a pesar que también existe silicificación. Se ha categorizado este tramo como un macizo de Clase III, lo cual se detalla en el Cuadro 48.

Cuadro 48. Caracterización del macizo rocoso del trigésimo cuarto tramo

Número de caracterización geomecánica	034	
Localización	Galería principal Minervilla	
Litología	Basalto	
PARÁMETROS	VALORACIÓN / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	127.07	11.0
RQD (%)	77.25	15.12
Espaciado de las discontinuidades (mm)	104.29	6.76
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	3 – 10	2
Abertura (mm)	Ninguna	6
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Meteorización	Ligeramente meteorizada	5
Agua subterránea	Húmedo	10
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo paralelo al eje/Buzamiento 45° - 90°	-12
RESULTADOS		
RMR₈₉ Básico	65	
RMR₈₉ Corregido	53	
RMR₈₉ Condiciones secas	70	
Clase de roca	III	
Descripción de la calidad	Media	
Cohesión del macizo rocoso	2 - 3 Kg/cm ²	
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso	25° - 35°	
GSI	65	
Fuente: Autor, 2017		

Luego de caracterizar geomecánicamente la galería principal de transporte, se presenta el Cuadro 49, en donde se resumen las características geomecánicas obtenidas en cada uno de los tramos descritos.

Cuadro 49. Resumen de la caracterización geomecánica de la galería principal de transporte

TRAMO	LITOLÓGÍA	DISTANCIA (m)	RMR	CALIDAD DEL MACIZO
Hormigón	Basalto de hornblenda alterado	17	–	Mala
T1		10	39	Mala
T2	Basalto de piroxeno y clinopiroxeno	15	53	Media
T3	Basalto de hornblenda alterado	15	49	Media
T4		10	42	Media
T5	Basalto de hornblenda alterado y basalto de piroxeno y clinopiroxeno	67	63	Buena
T6	Basalto de hornblenda alterado	11	61	Buena
T7	Cuarzoandesita porfídica de hornblenda	10	67	Buena
T8	Basalto de hornblenda alterado	10	62	Buena
T9		8	57	Media
T10		6	71	Buena
T11		13	62	Buena
T12		17	63	Buena
T13		Cuarzo diorita de hornblenda	11	57
T14	Basalto de hornblenda alterado	27	63	Buena
T15		45	53	Media
T16		17	50	Media
T17		9	60	Media
T18		8	60	Media
T19		9	52	Media
T20	Dacita porfídica de hornblenda	9	58	Media
T21	Basalto de hornblenda	13	56	Media
T22	Cuarzo diorita de hornblenda	7	54	Media
T23	Basalto de hornblenda	23	52	Media
T24		23	57	Media
T25	Cuarzo diorita de hornblenda	32	57	Media
T26	Basalto de hornblenda	29	52	Media
T27		11	41	Media
T28		20	53	Media
T29		10	52	Media
T30		25	52	Media
T31		10	57	Media
T32		25	59	Media
T33		30	47	Media
T34		15	53	Media

Fuente: Autor, 2017

En el mapa que se muestra en el Anexo 8, se puede apreciar que en tramos adyacentes, pese a tener un índice RMR diferente, corresponden a la misma Calidad de roca, por lo cual se los ha representado con un mismo color.

Así mismo, se ha elaborado un gráfico de para analizar el comportamiento del macizo rocoso según su índice RMR, esto se muestra en la Figura 31.

Se puede observar que el macizo rocoso en el primer tramo caracterizado inicia con un Índice RMR bajo, correspondiente a una Mala Calidad, luego se incrementa levemente su Índice RMR hasta tener una Calidad Media durante los tramos 2, 3 y 4, justificándose esto ya que corresponde a la zona de mayor meteorización al estar más expuesta a la superficie, además, las condiciones hidrogeológicas, la presencia de una pequeña falla y de la veta La Suca, han condicionado para que el macizo se presente en esta calidad, sin embargo, una vez que se atraviesa este sector, es decir a partir del quinto tramo, las condiciones del macizo mejoran notablemente y su Índice RMR se eleva, llegando a caracterizarlo de Buena Calidad, siendo ésta zona la de mayor estabilidad, cabe mencionar que un factor importante en este tramo es la ausencia de agua en el macizo.

Desde el tramo 5 hasta el tramo 14 prácticamente el macizo se presenta con una Buena Calidad, excepto en el punto 9, en donde el macizo se encuentra afectado por dos fracturas subverticales conteniendo un relleno de arcilla, se encuentra un diaclasamiento centimétrico por lo cual se lo ha categorizado como un macizo de Calidad Media. De igual forma, el tramo 13 se comporta como un macizo de Calidad Media al contener relleno de arcilla entre sus diaclasas, estar húmedo y por la disposición de la principal familia de discontinuidades.

Desde el tramo 15 hasta el tramo 34, el macizo reduce su Índice RMR y se comporta con una Calidad Media, esto debido a que se encuentran estructuras mineralizadas como vetas y brechas así como fallas, además las condiciones de humedad del macizo las cuales afectan la calidad.

En ésta zona, el tramo que presenta el menor Índice RMR, lo constituye el tramo 27, con un índice de 41, mismo que se justifica al comprender una falla de aproximadamente un metro de potencia, con un rumbo subparalelo al eje de la galería, la cual corresponde a una falla de tipo normal con una componente sinistral, cuyas condiciones hidrogeológicas presentan agua infiltrada por esta estructura.

El siguiente tramo que presenta un bajo Índice RMR lo constituye el tramo 33, con un índice de 47, mismo que se justifica debido a la presencia de las siguientes estructuras; Fallas: una subhorizontal y una subvetical y subparalela al eje de la galería. Vetas: Veta Rosita y una vetilla similar a la Veta Azul. El macizo presenta sectores con mayor grado de meteorización y se evidencia por los fragmentos desprendidos especialmente desde el techo y la pared derecha de la galería.

En la gráfica claramente se puede apreciar la predominancia de macizo de calidad media luego del tramo 14, comprendiendo índices RMR entre 50 y 60, lo cual según Romana en el 2000, denomina como clase media a buena.

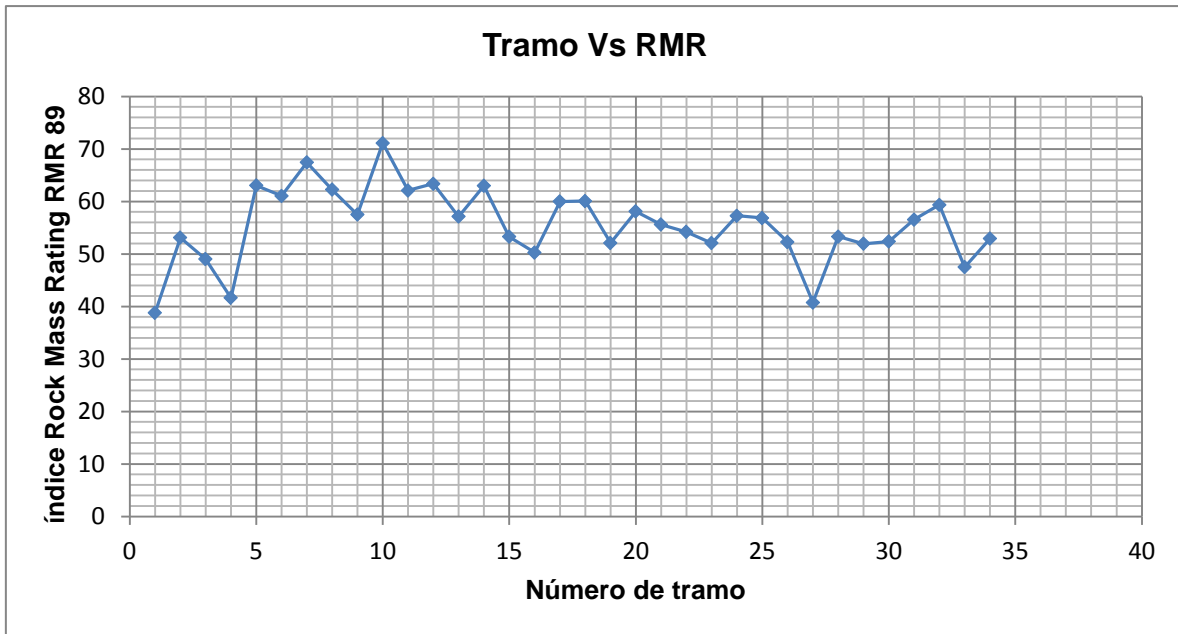


Figura 31. Comportamiento del macizo rocoso de la galería principal de transporte

Fuente. Autor, 2017

Además, se puede apreciar que a pesar de encontrarse sectores en donde el macizo rocoso es de clase III, no existe prácticamente inestabilidad, esto debido a que la sección de la galería no permite que se desprendan cuñas o bloques, la cantidad de familias de diaclasas y las condiciones de las mismas como las del macizo en sí.

7.7 Análisis Cinemático

En este apartado se presenta la interpretación de los datos tomados en cada tramo caracterizado geomecánicamente para lo cual, se muestra un análisis bidimensional mediante un estereograma elaborado en el software Dips 6.0 para todos los tramos y un análisis tridimensional empleando en software Unwedge 3.0; éste último se lo ha realizado cuando existen tres o más familias de discontinuidades. Posterior al análisis de los datos en software Dips, se plantean brevemente parámetros de estabilización, excepto en los sectores en donde se forman cuñas tetraedrales ya que éstos se detallan en el análisis tridimensional con el software Unwedge. Las medidas de sostenimiento planteadas se detallan en el Anexo 15.

7.7.1 Análisis bidimensional mediante estereogramas

En el tramo 1 se han identificado dos familias de discontinuidades definidas: J1 y J2, más una aleatoria: J3, las cuales se pueden identificar en el estereograma de la Figura 32 y muestran la formación de cuñas debido a la intersección de estas tres familias de discontinuidades. J1 tiene una orientación preferencial NW – SE, J2 se constituye como la principal familia y tiene una orientación preferencial NNE – SSW, mientras que J3 tiene una orientación preferencial NW – SE. El principal modo de fallamiento será por deslizamiento.

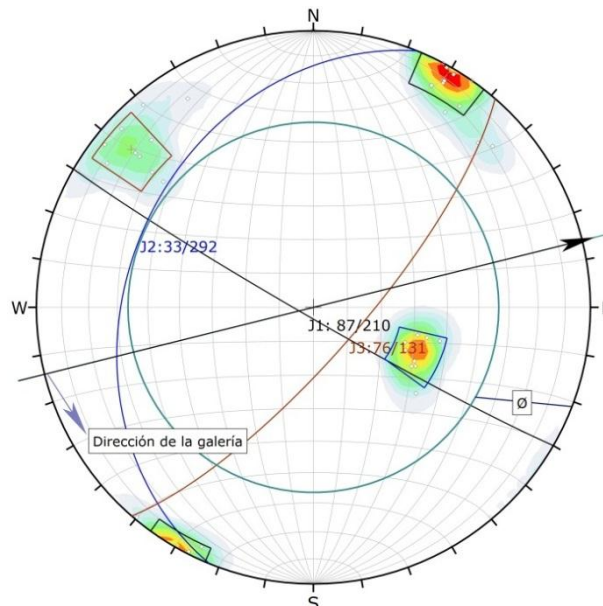


Figura 32. Red estereográfica del tramo 1

Fuente. El autor, 2017

En el segundo, tercero y cuarto tramo no se forman cuñas tetraedrales debido a que únicamente se presentan dos familias de discontinuidades en cada tramo, así se tiene que:

En el tramo 2: J1 tiene una orientación preferencial NW – SE, mientras que J2 tiene una orientación preferencial N – S, esto se puede apreciar en la Figura 33 a).

En el tramo 3, las familias tienen similar orientación, como se puede ver en la Figura 33 b), sin embargo se han considerado tramos diferentes debido a las condiciones geomecánicas de estas familias en la galería, teniendo en este tramo mayor relevancia la familia que se orienta de Norte a Sur.

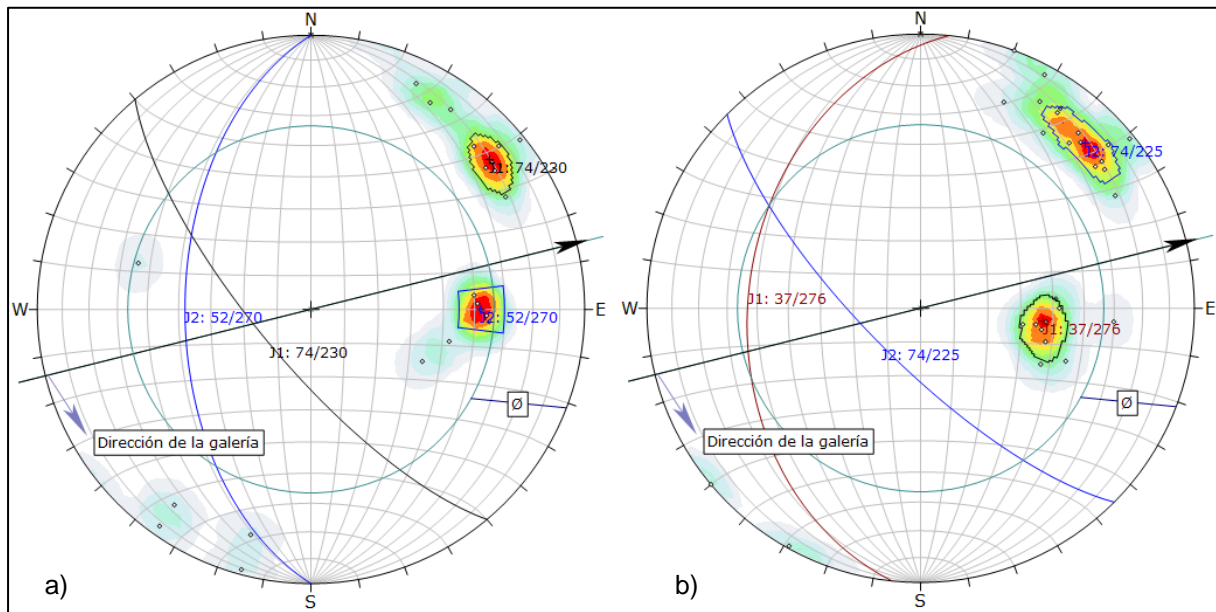


Figura 33. Redes estereográficas de los tramos 2 y 3

Fuente. El autor, 2017

El tramo 4 comprende un macizo de Clase III debido a las condiciones geomecánicas ya descritas, en donde la principal característica lo constituye el relleno de arcilla entre sus diaclasas y las condiciones de humedad, se presentan dos familias de discontinuidades similares a las presentes en los tramos anteriores con ligeras variaciones en su disposición. La familia correspondiente a J1 tiene una dirección preferencial NW – SE, mientras que J2 presenta una tendencia NNE – SSW, esto se puede ver en el estereograma de la Figura 34.

Para estabilizar los tramos 2, 3 y 4 se recomienda ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.5 m. de longitud, con una malla de 1.2 m. x 1.2 m., los pernos al igual que el tramo 1 se ha considerado que deben ubicarse de manera perpendicular a la sección de la galería. Se recomienda combinarlos con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y sus traslapes deben ser de 0.30 m.

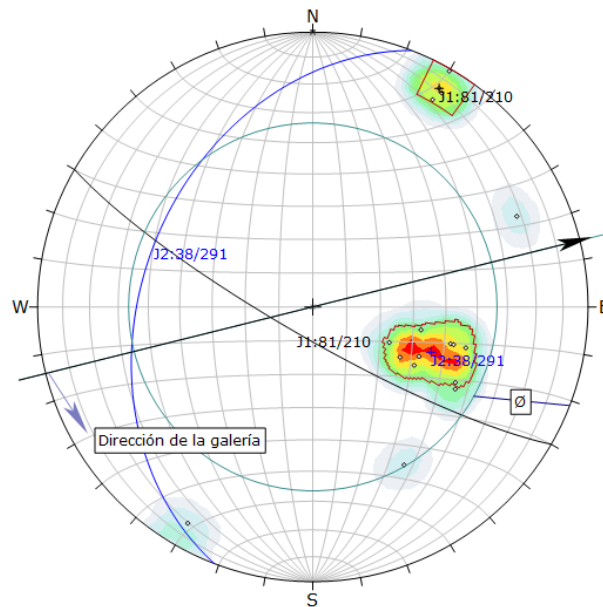


Figura 34. Red estereográfica del tramo 4

Fuente. El autor, 2017

En el tramo 5, se puede apreciar que la familia J1 corresponde a la principal familia de discontinuidades y tiene una dirección preferencial NE – SW mientras que la familia J2 tiene una dirección preferencial S – N, como se ve en la Figura 35 a). De igual manera, en el tramo 6, la principal familia es J1 y tiene una orientación preferencial NE – SW y la familia J2 se orienta con una tendencia NW – SE, esto se puede ver en la Figura 35 b).

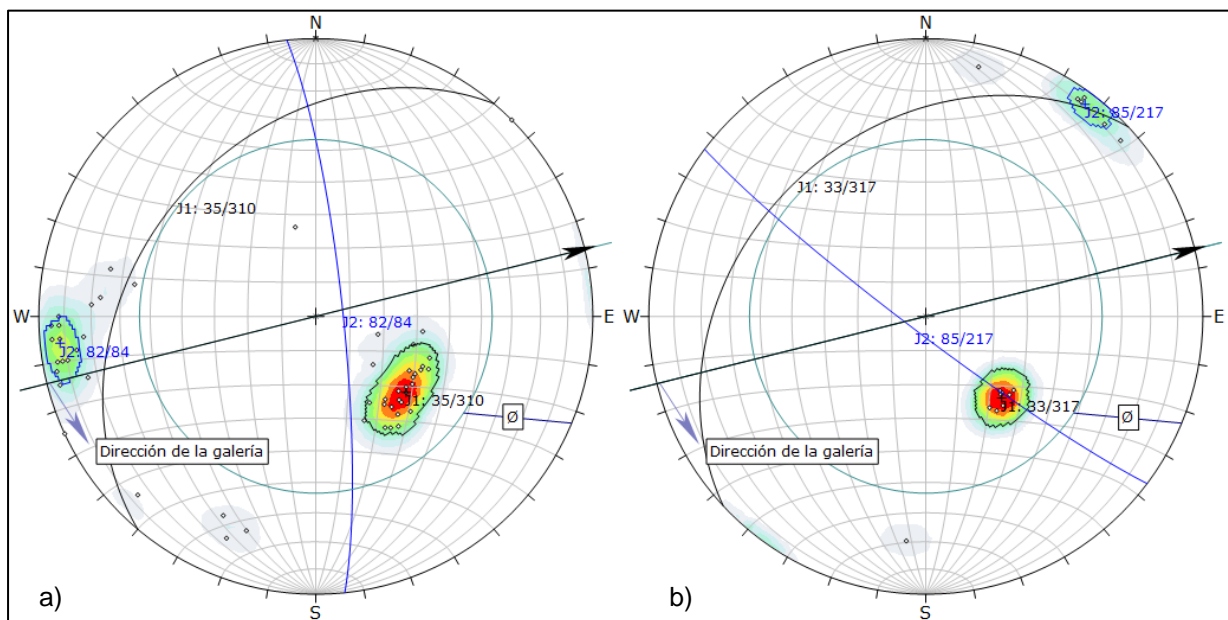


Figura 35. Redes estereográficas de los tramos 5 y 6

Fuente. El autor, 2017

El séptimo tramo representa un macizo de Buena Calidad, con una sola familia de discontinuidades definida; J1, la cual tiene una dirección preferencial NE – SW, además de una familia aleatoria; J2, misma que tiene una dirección preferencial W – E. Dadas estas condiciones no se forman cuñas, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 36.

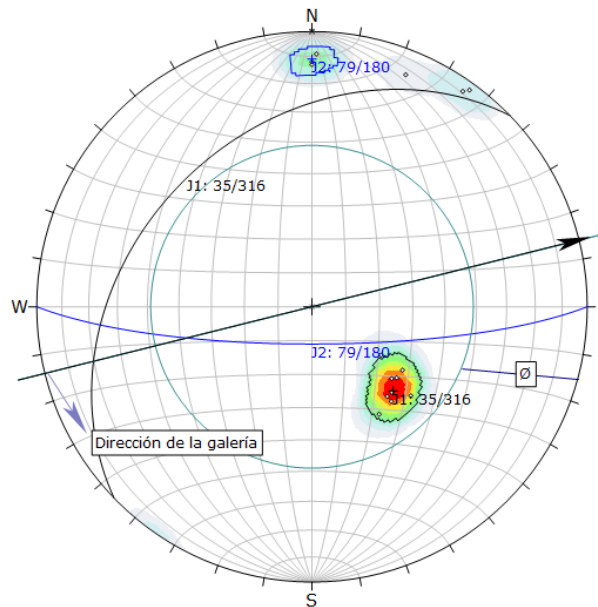


Figura 36. Red estereográfica del tramo 7

Fuente. El autor, 2017

Analizados los tramos 5, 6 y 7, se puede mencionar que comprenden un macizo Clase II, es decir; de Buena Calidad, en donde no se ha evidenciado inestabilidad y no se forman cuñas tetraedrales debido a que existen únicamente dos familias de discontinuidades. Dadas estas condiciones, no se necesitarían elementos de sostenimiento ya que la roca es competente y los esfuerzos se han reacomodado hasta alcanzar una estabilidad natural, sin embargo se sugiere aplicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal (ver detalle en Anexo 15), ubicados aleatoriamente e inyectados con lechada de hormigón, que soporten preferencialmente a la principal familia, los pernos deben tener una longitud de 1.5 m. Además se sugiere realizar un desquinche integral en toda la galería.

En el tramo 8 existen tres familias de discontinuidades de las cuales, J1 corresponde a la principal familia y tiene una dirección preferencial E – W, J2 tiene una dirección preferencial SE – NW mientras que J3 tiene una dirección preferencial ESE – WNW. J2 y J3 se constituyen como aleatorias. Considerando estas tres familias de discontinuidades, se dan las condiciones de formación de cuñas que podrían caer por deslizamiento, esto se puede ver en el estereograma de la Figura 37.

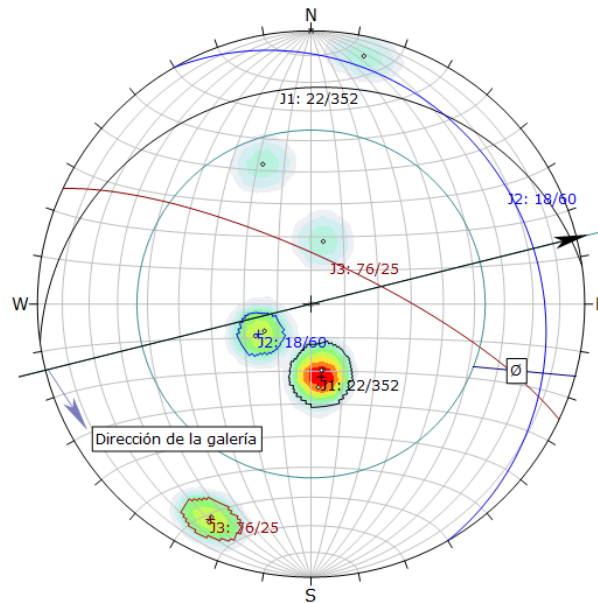


Figura 37. Red estereográfica del tramo 8.

Fuente. El autor, 2017

Los tramos 9, 10, 11 y 12 presentan dos familias de discontinuidades, por lo cual no existe la formación de cuñas tetraedrales. En el caso del tramo 9, representa un macizo de Calidad Media, con una sola familia de discontinuidades definida; J1, la cual es subvertical y tiene una dirección preferencial S – N. Esto se puede apreciar en el estereograma de la Figura 38 a).

En el tramo 10, representa un macizo de Buena Calidad, en dónde; J1 es la principal familia, es subvertical y tiene una dirección con tendencia S – N mientras que J2 tiene una dirección preferencial SE – NW, como se puede ver en la Figura 38 b).

En los tramos 11 y 12 de igual manera, únicamente se presentan dos familias de discontinuidades, de las cuales la principal familia se denota con J1.

En el tramo 11: J1 tiene una orientación preferencial WSW – ENE, mientras que J2 tiene una orientación preferencial S – N, esto se puede apreciar en la Figura 39 a).

En el tramo 12, las familias cambian notablemente su orientación, se puede observar que J1 tiene una orientación preferencial NW – SE, mientras que J2 se orienta preferencialmente de NE – SW lo cual se puede ver en la Figura 39 b).

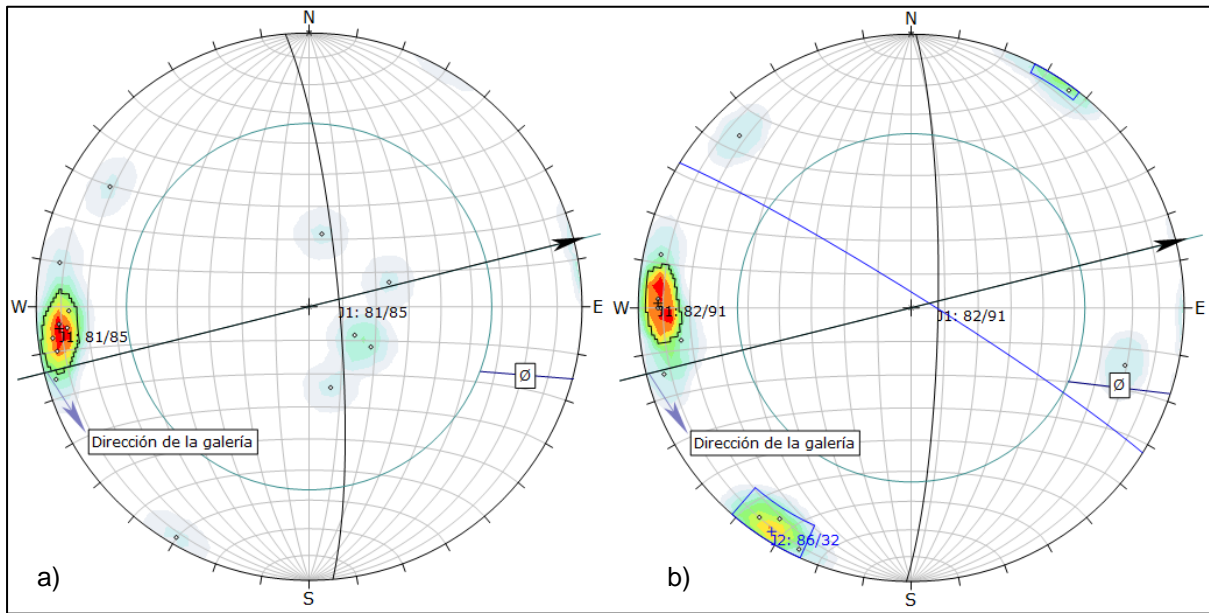


Figura 38. Redes estereográficas de los tramos 9 y 10.

Fuente. El autor, 2017

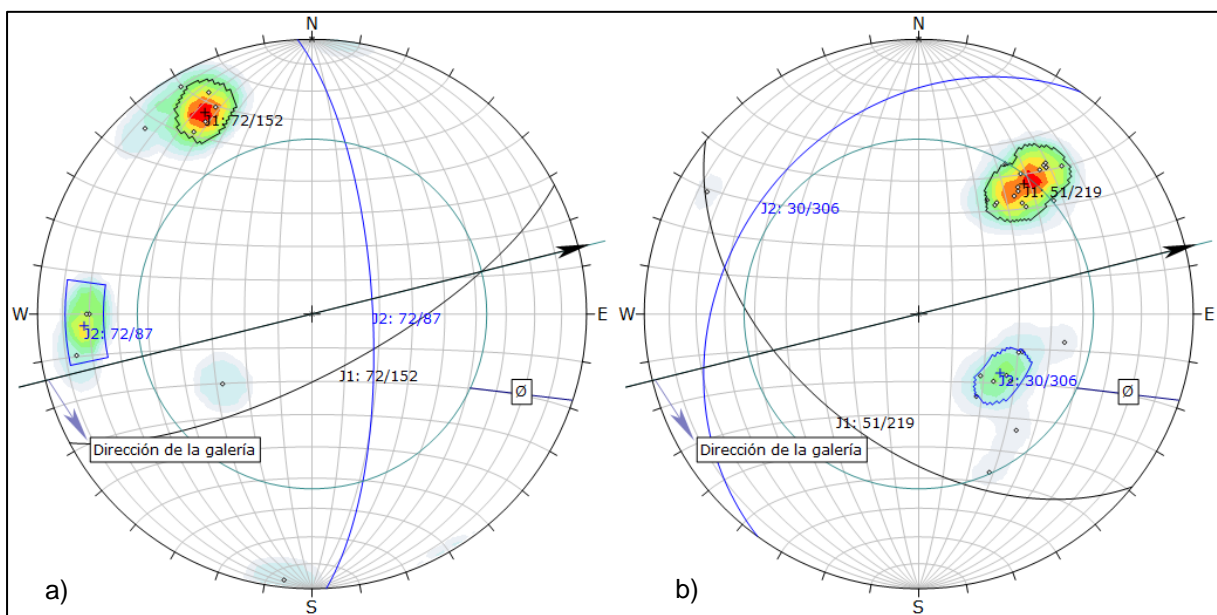


Figura 39. Redes estereográficas de los tramos 11 y 12.

Fuente: El autor, 2017

En estos tramos predomina la presencia de un macizo de Buena Calidad y al presentar una baja sección, no se ha evidenciado inestabilidades, podría quedar sin elementos de sostenimiento sin embargo, como en el caso anterior se sugiere ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.5 m. de longitud (ver detalle en Anexo 15), deben ser ubicados perpendicularmente a la sección de la galería y para el tramo 12 deben ir ubicados en el techo de forma que se los disponga inclinadamente, formando un ángulo entre 30° y 45° respecto al plano de la principal familia.

El décimo tercer tramo representa un macizo de Calidad Media, con una sola familia de discontinuidades definida; J1, la cual tiene una dirección preferencial NNW – SSE. Dadas estas condiciones no se forman cuñas tetraedrales, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 40 a).

El décimo cuarto tramo representa un macizo de Buena Calidad, con dos familias de discontinuidades definidas; J1, con una dirección preferencial W – E y J2, dispuesta subverticalmente y con una dirección preferencial NW – SE. Dadas estas condiciones tampoco se forman cuñas, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 40 b).

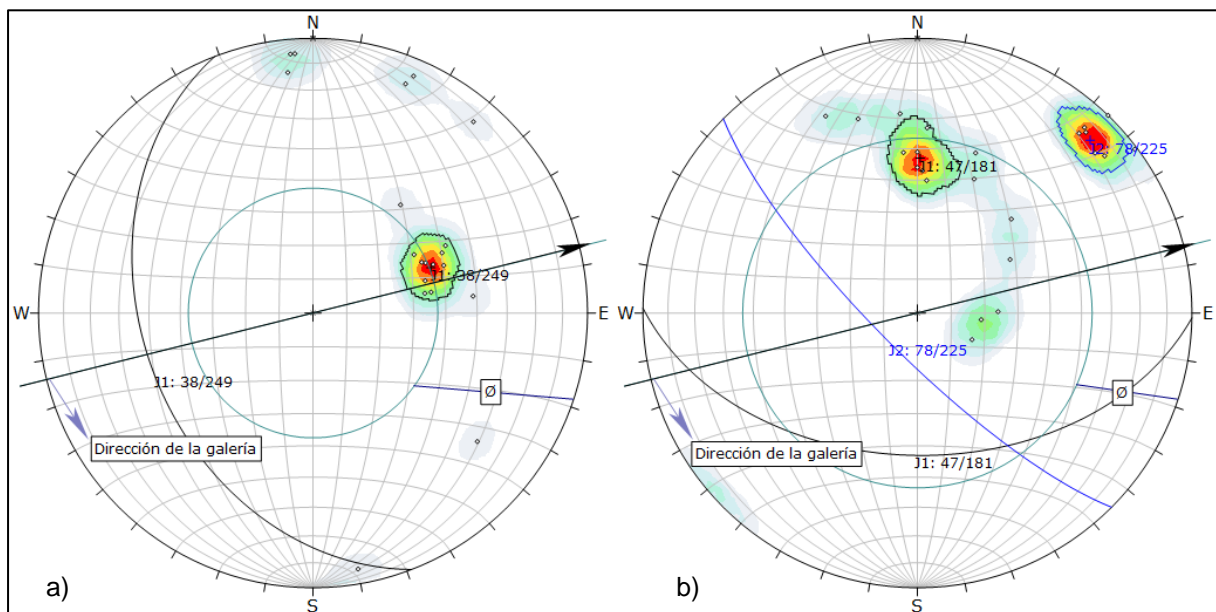


Figura 40. Redes estereográficas de los tramos 13 y 14.

Fuente. El autor, 2017

El tramo 15 representa un macizo de Calidad Media el cual presenta dos familias de discontinuidades; J1 se constituye la principal familia con una dirección preferencial N – S y J2, con dirección NW – SE. Dadas estas condiciones no se forman cuñas, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 41.

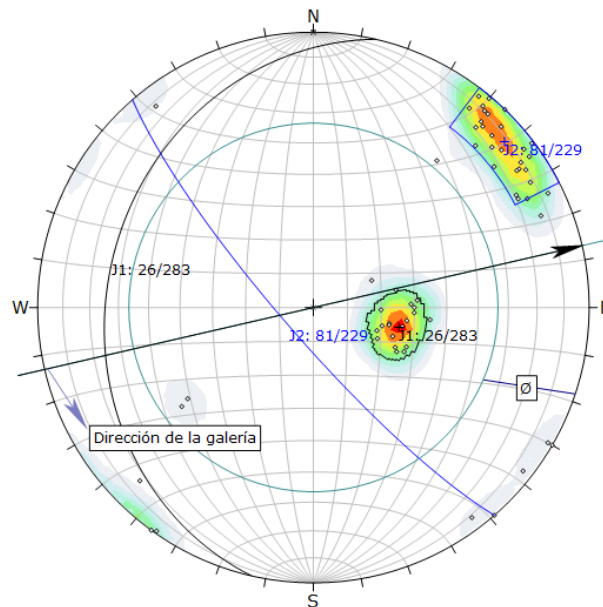


Figura 41. Red estereográfica del tramo 15.

Fuente. El autor, 2017

Estos tramos descritos igualmente comprenden dos familias de discontinuidades (excepto el tramo 13 que contiene una familia); no se ha evidenciado inestabilidad debido a la formación de cuñas, sin embargo para asegurar la estabilidad del macizo se sugiere la colocación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.5 m. de longitud como se detalla en el Anexo 15.

El tramo 16 cuenta con tres familias de discontinuidades; F, pertenece a una falla de baja potencia, de tipo dextral, está bien definida y tiene una dirección preferencial SW – NE; J1, con dirección NW – SE y J2, dispuesta subhorizontalmente y considerada aleatoria, se orienta con tendencia ESE – WNW.

Dadas estas condiciones, existe la formación de cuñas tetraedrales, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 42, en donde el principal modo de fallamiento es por deslizamiento, sin descartar la posibilidad de la formación de una cuña pequeña en el techo de la galería, la cual es propensa a caer por gravedad.

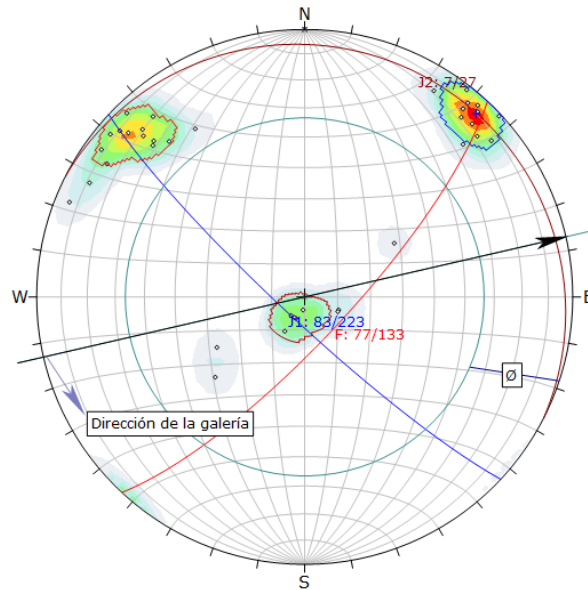


Figura 42. Red estereográfica del tramo 16.
Fuente. El autor, 2017

En el Tramo 17 se presenta una sola familia de discontinuidades definida, la cual tiene una dirección preferencial NW – SE y es subvertical, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 43 a).

En el tramo 18; J1 tiene una dirección preferencial SSE – NNW y J2, una dirección E – W, lo cual se puede ver en el estereograma de la Figura 43 b). Dadas estas condiciones de estos tramos, no se forman cuñas tetraedrales.

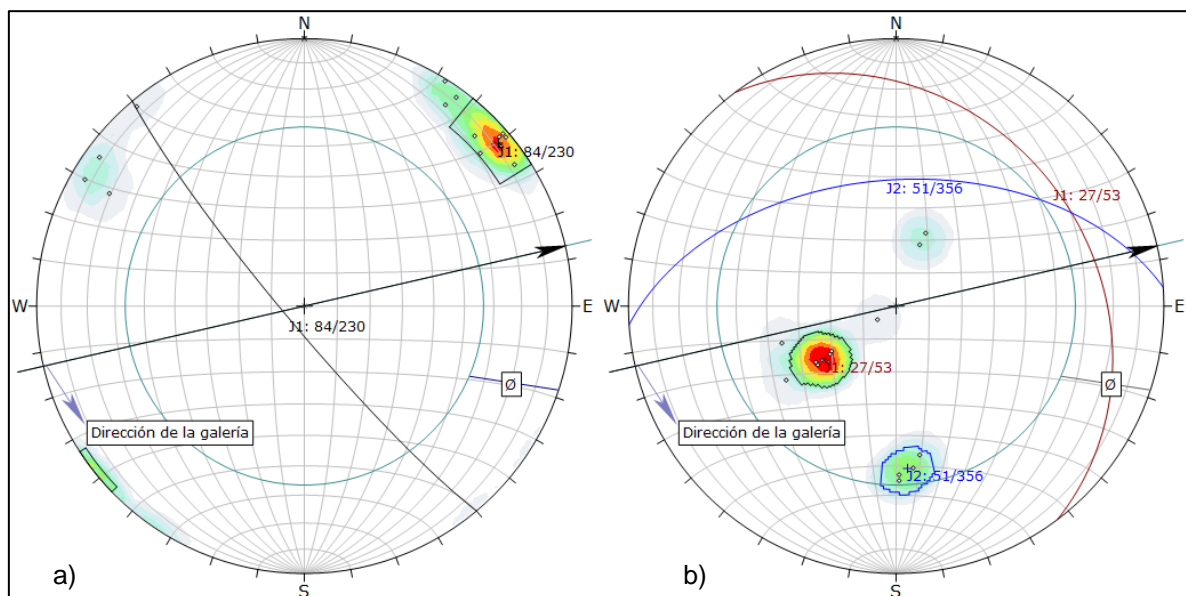


Figura 43. Redes estereográficas de los tramos 17 y 18.

Fuente. El autor, 2017

Para la estabilización de estos tramos se sugiere la ubicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal, considerando una malla de 1.2 x 1.4 m. El diámetro a aplicarse será de 18 mm y una longitud de 1.5 m. Deben ir ubicados en el techo, de manera perpendicular respecto a la sección de la galería.

En el tramo 19; J1 tiene una dirección preferencial SSW – NNE, J2; se constituye como la principal familia y tiene una dirección N – S, mientras que J3, tiene una dirección SSE – NNW, esto se puede apreciar en el estereograma de la Figura 44 a).

En el tramo 20; J1 y J2 tienen una dirección preferencial SSE – NNW mientras que J3, una dirección W – E, lo cual se puede apreciar en el estereograma de la Figura 44 b).

En estos tramos: 19 y 20, se presentan tres familias de discontinuidades, por lo cual existe la formación de cuñas tetraedrales cuyo principal modo de fallamiento se presenta por deslizamiento.

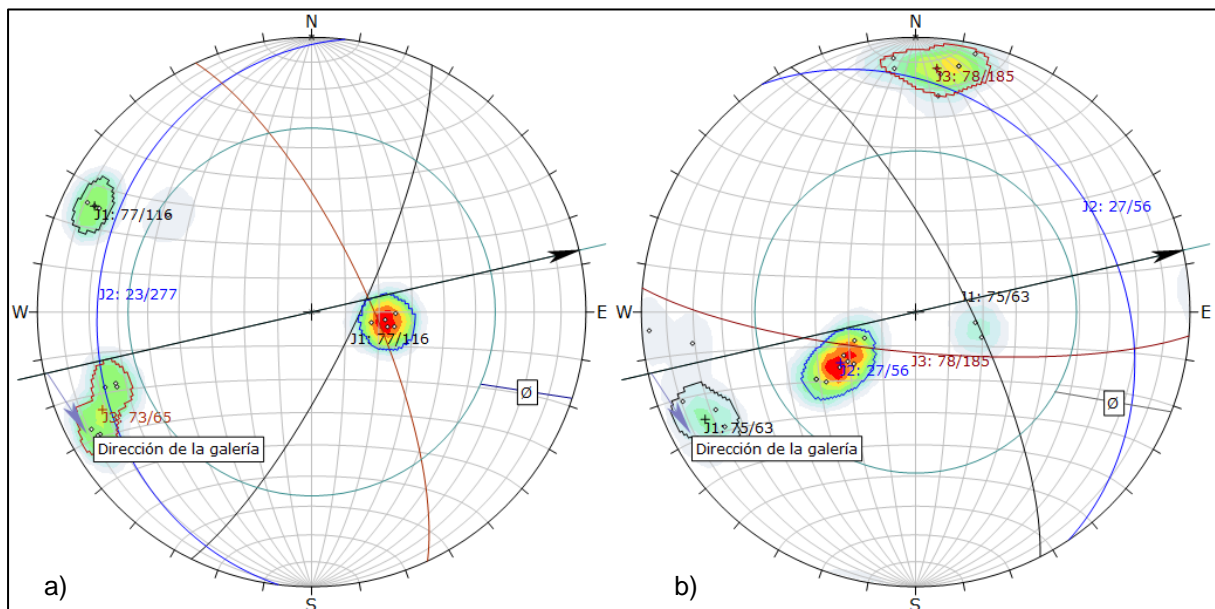


Figura 44. Redes estereográficas de los tramos 19 y 20.

Fuente. El autor, 2017

En el tramo 21; J1 es la principal familia de discontinuidades y tiene una dirección preferencial NNE – SSW mientras que J2 tiene con una dirección preferencial SE – NW, como se puede ver en la Figura 45 a).

Así mismo en el tramo 22; J1 es la principal familia y tiene una dirección preferencial NNE – SSW mientras que J2 una dirección W – E, ver Figura 45 b).

En el tramo 23, J1 es la principal familia, orientada preferencialmente N – S y J2 tiene una dirección preferencial ESE – WNW, como se puede apreciar en la Figura 46.

Los tramos 21, 22 y 23 presentan dos familias de discontinuidades, se han considerado tres tramos debido al cambio de litología y la disposición de las familias de discontinuidades. Dadas las condiciones descritas, en estos tramos no se forman cuñas tetraedrales.

Para la estabilización de estos tramos se sugiere la ubicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., deben ser rellenos con lechada de hormigón e intersecar principalmente a las familias que se encuentran ligeramente inclinadas.

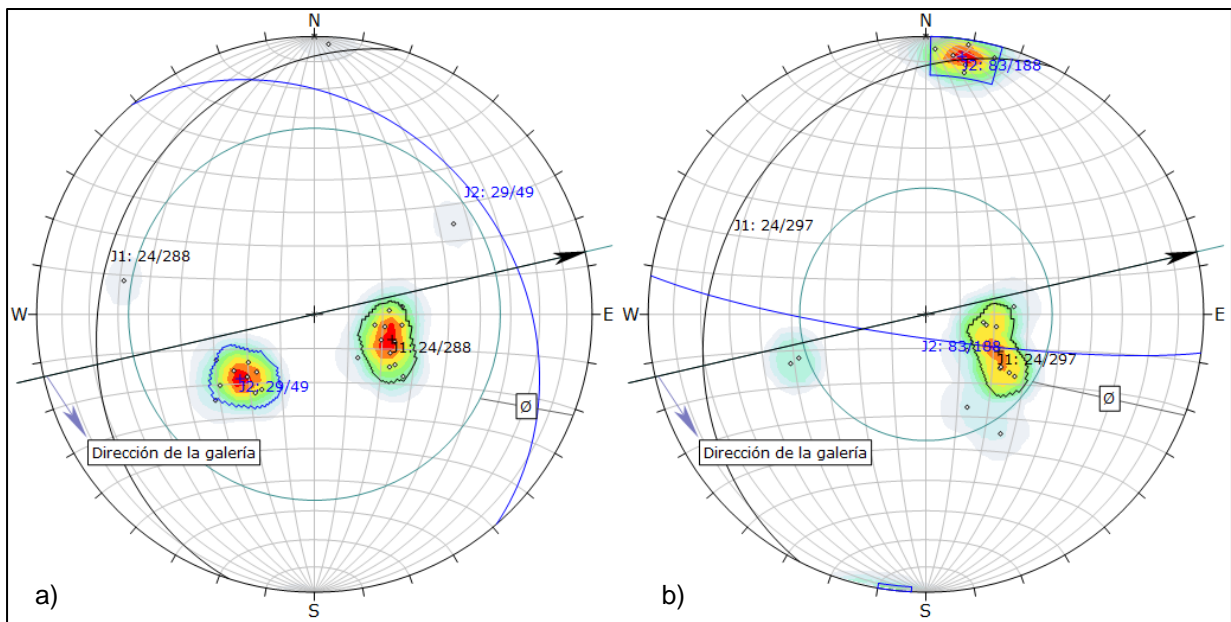


Figura 45. Redes estereográficas de los tramos 21 y 22.

Fuente. El autor, 2017

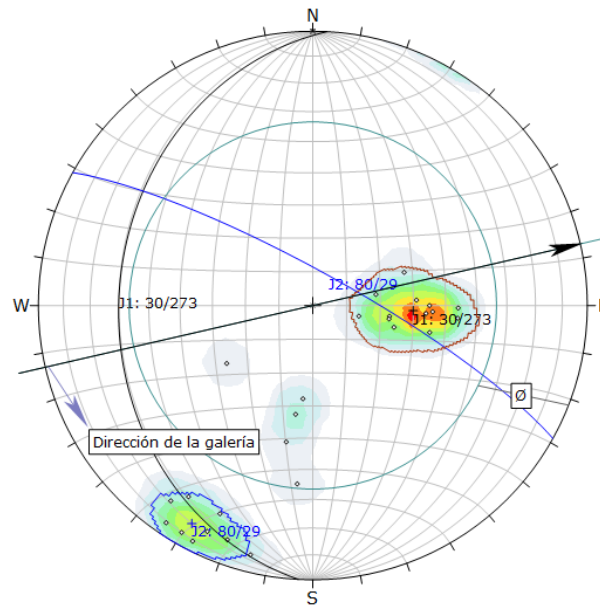


Figura 46. Red estereográfica del tramo 23.

Fuente. El autor, 2017

El tramo 24 presenta tres familias de discontinuidades, se puede observar la formación de una cuña tetraedral al NW del estereograma y cuyo mecanismo de fallamiento es por deslizamiento. La familia principal: J1, tiene una dirección preferencial NNW – SSE, J2 se orienta ESE – WNW, mientras que J3 se constituye en una familia aleatoria, con una dirección preferencial NE – SW, esto se puede apreciar en la Figura 47.

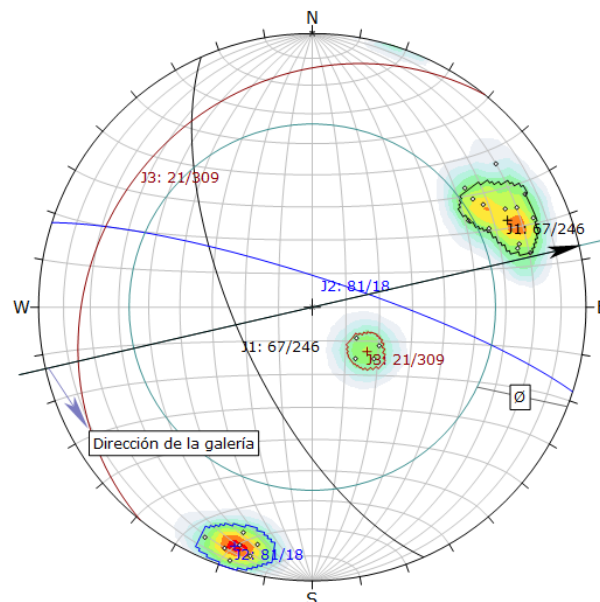


Figura 47. Red estereográfica del tramo 24

Fuente. El autor, 2017

Los tramos 25 y 26 presentan dos familias de discontinuidades, sin embargo al corresponder a dos tramos con diferente litología se han elaborado dos caracterizaciones y dos análisis cinemáticos.

En el tramo 25; J1 tiene una dirección preferencial W – E mientras que J2 se constituye la principal familia, se dispone subhorizontalmente y tiene una dirección N – S como se puede ver en la Figura 48 a).

De igual manera, en el tramo 26; J1 se constituye como la principal familia, con una dirección preferencial N – S, mientras que J2 tiene una dirección ESE – WNW, esto se puede apreciar en la Figura 48 b).

Así como en los casos anteriores, para la estabilización de estos tramos se sugiere ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., rellenos con lechada de hormigón y considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., siendo el eje de la galería el centro de la separación de los pernos.

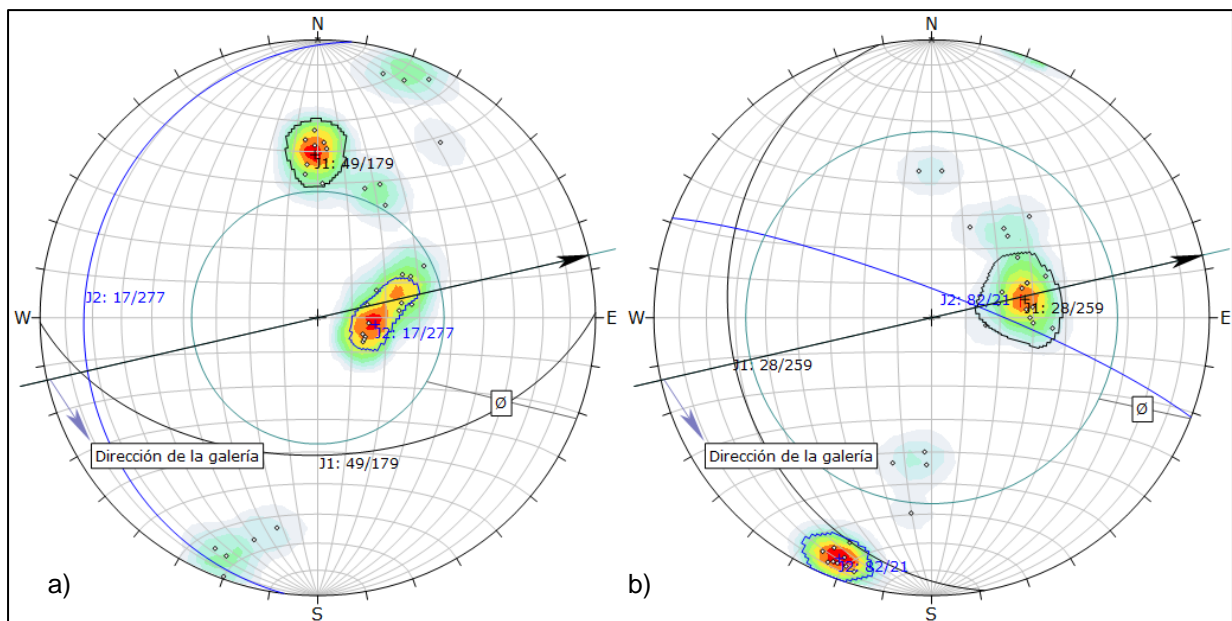


Figura 48. Redes estereográficas de los tramos 25 y 26.

Fuente. El autor, 2017

Los tramos 27, 28 y 29 presentan tres familias de discontinuidades en un mismo tipo de litología y con características geomecánicas diferentes.

En el tramo 27; la familia con código F corresponde a una falla, misma que determina las condiciones geomecánicas del macizo en este tramo, tiene una dirección W – E. La familia de código J1 tiene una dirección E – W y la familia con código J2 se orienta NNE – SSW, como se puede ver en la Figura 49 a).

Así mismo en el tramo 28; La familia con código Fr, corresponde a una fractura cuyas diaclasas subparalelas se constituyen en la familia que determina las condiciones geomecánicas de este tramo y tiene una orientación preferencial NNE – SSW, J1 tiene una dirección preferencial W – E mientras que J2 ésta orientada con una tendencia NNE – SSW, esto se puede ver en la Figura 49 b).

El tramo 29 presenta a la familia J1 con una dirección preferencial WNW – ESE, J2 una dirección NNE – SSW mientras que J3 se constituye en la principal familia con una tendencia E – W, como se puede apreciar en la Figura 50. En el estereograma se puede apreciar que las familias J1 y J2 no tienen una gran concentración debido a que no se han podido recolectar más datos en este sector, sin embargo se las ha considerado en el análisis para formación de cuñas debido a su presencia in situ.

Dadas estas condiciones, en estos tramos sí existe la formación de cuñas tetraedrales, cuyo principal modo de fallamiento se da por deslizamiento aunque no se descarta la posibilidad de formación de pequeñas cuñas que pueden fallar por caída libre.

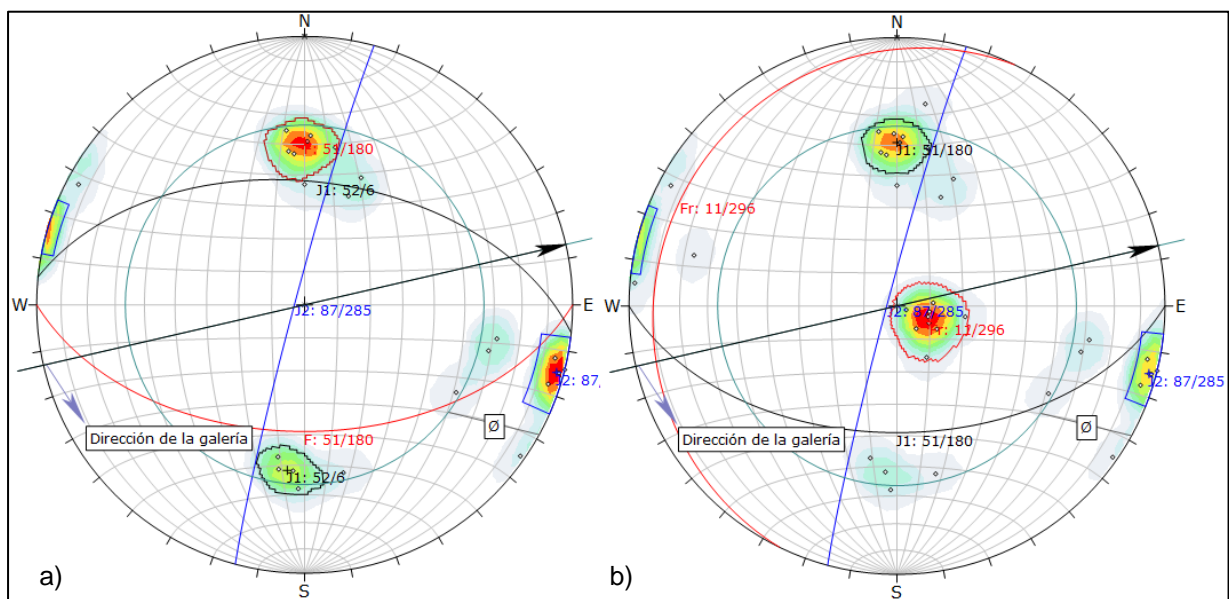


Figura 49. Redes estereográficas de los tramos 27 y 28.

Fuente. El autor, 2017

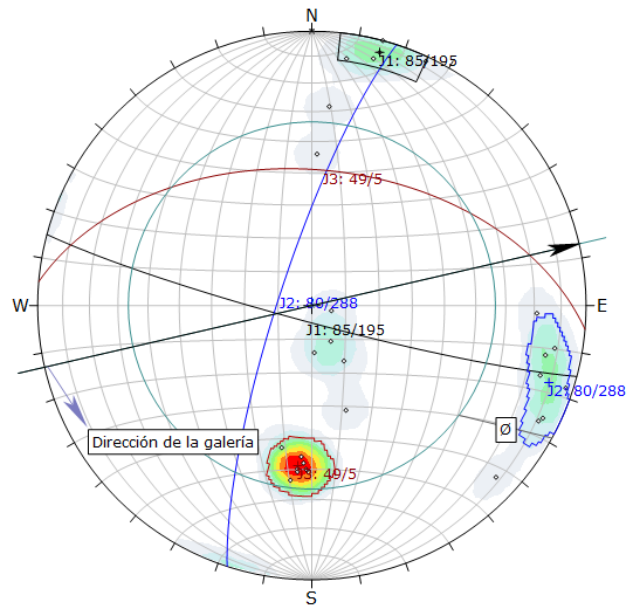


Figura 50. Red estereográfica del tramo 29.

Fuente. El autor, 2017

En el tramo 30, la principal estructura que afecta la estabilidad es una falla relacionada a la veta Azul, la cual se asume que debido a la interacción con fluidos hidrotermales han meteorizado notablemente al macizo rocoso, presentando una alteración argílica. En el estereograma que se muestra en la Figura 51 se detallan los datos de las familias de discontinuidades de este tramo.

La familia con código F corresponde a la falla presente en este tramo y es la responsable de la estabilidad del macizo, presenta una dirección con tendencia NNW – SSE, mientras que la familia de código J1 presenta una orientación WNW – ESE.

Como se puede apreciar, no existe la formación de cuñas tetraedrales ni biplanares. Para la estabilización de este tramo se plantea la ubicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.5 metros de longitud, de 18 mm de diámetro, rellenos con lechada de hormigón y dispuestos en una malla de 1.2 x 1.2 m, además dadas las condiciones del macizo se debe ubicar malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m., perpendiculares a la sección de la galería (ver detalle en Anexo 15).

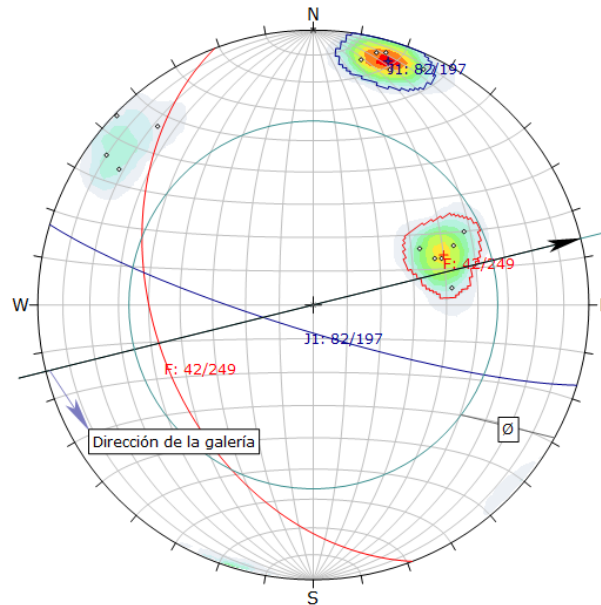


Figura 51. Red estereográfica del tramo 30.

Fuente. El autor, 2017

Los tramos 31 y 32 presentan tres familias de discontinuidades mientras que el tramo 33 se han considerado 4 familias, todo esto en un mismo tipo de litología.

El tramo 31 se representa en la Figura 52 a), donde; J1 corresponde a la principal familia y su orientación es NNW – SSE, J2; se orienta E – W mientras que J3; W – E. Estas tres familias se intersecan y forman una cuña tetraedral en la parte Oeste del estereograma, además la dirección de la galería cambia con respecto a los tramos anteriores.

En el tramo 32, J1 representa a la principal familia, tiene un orientación ESE – WNW, J2 una dirección W – E y J3 una dirección NW – SE, ésta última es una familia con menor concentración respecto a J1 y J2 y se puede apreciar en el estereograma de la Figura 52 b)

En el tramo 33, se presentan cuatro familias de discontinuidades, dos corresponden a fallas: F1 y F2, mientras que J1 y J2 pertenecen a familias de diaclasas. F1 es la que condiciona la calidad del macizo ya que se encuentra en el techo y existe desprendimiento de material, el cual se encuentra muy meteorizado. Tiene una orientación SSE – NNW. F2 se encuentra al final del tramo y tiene menor influencia que F1, se orienta W – E. J1 tiene una orientación NE – SW mientras que J2 tiene una orientación ESE – WNW. Esto se puede apreciar en la Figura 53.

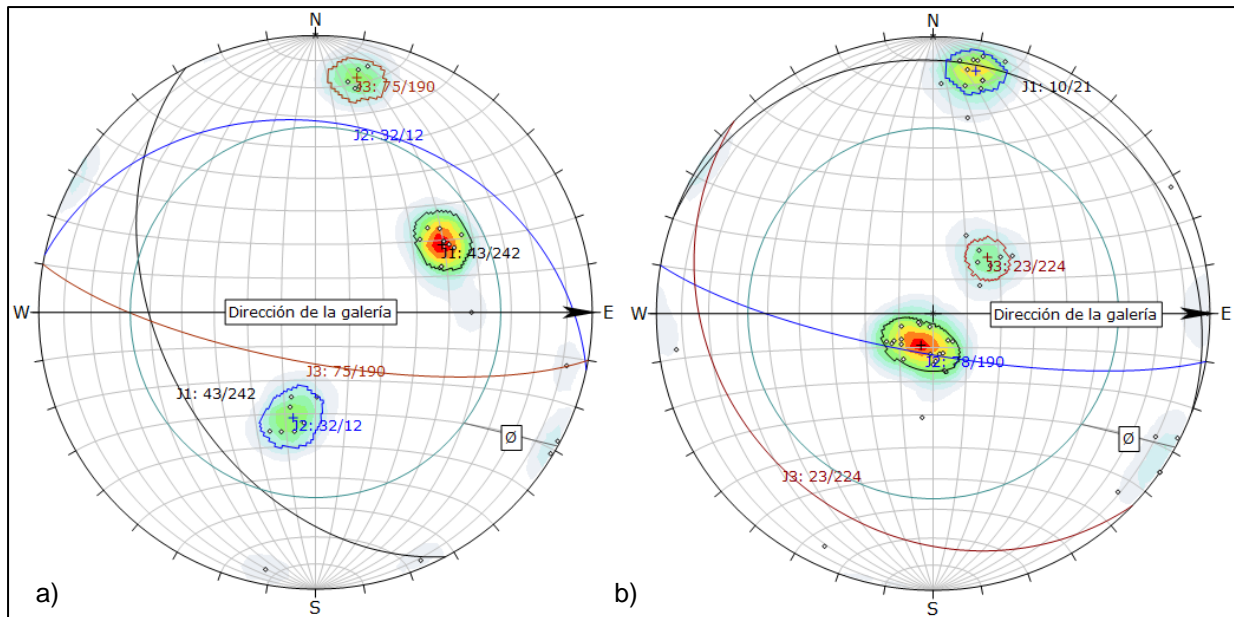


Figura 52. Redes estereográficas de los tramos 31 y 32.

Fuente. El autor, 2017

Para determinar la formación de cuñas tetraedrales se puede ir combinando las familias, así; con la combinación F1, F2 y J1 se presenta la formación de una potencial cuña cuyo mecanismo de fallamiento puede darse por caída desde el techo. Combinando F1, F2 y J2 se forma una cuña al Este del estereograma, la misma que no está dentro del círculo de fricción, por lo tanto no caerá; es un bloque estable. Combinando F1, J1 y J2 se forma una cuña al NE del estereograma, la misma que puede fallar por deslizamiento. Finalmente si se combina F2, J1 y J2 se forma una potencial cuña que tiende a fallar por caída libre, es decir es un bloque inestable. Todo lo que se ha descrito se puede apreciar en el estereograma de la Figura 53.

Finalmente en el tramo 34, no existe la formación de cuñas debido a que existen dos familias de discontinuidades. J1 es la principal familia y se orienta W – E, mientras que J2 se orienta de WNW – ESE, esto se puede ver en el estereograma de la Figura 54, sin embargo para asegurar un factor de seguridad permanente se sugiere ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., rellenos con lechada de hormigón y considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m.

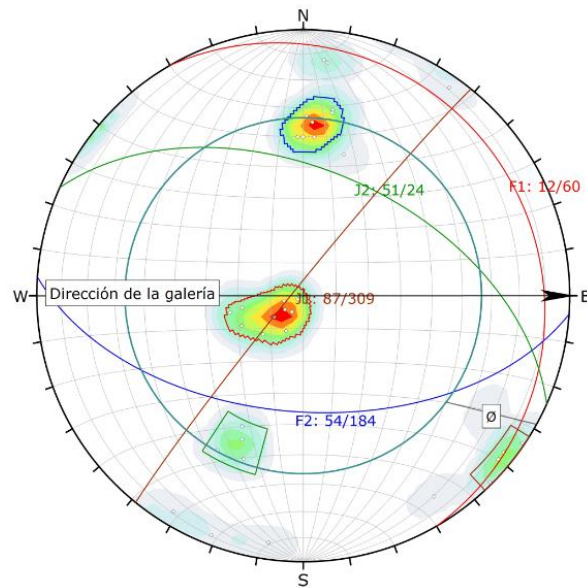


Figura 53. Red estereográfica del tramo 33.

Fuente. El autor, 2017

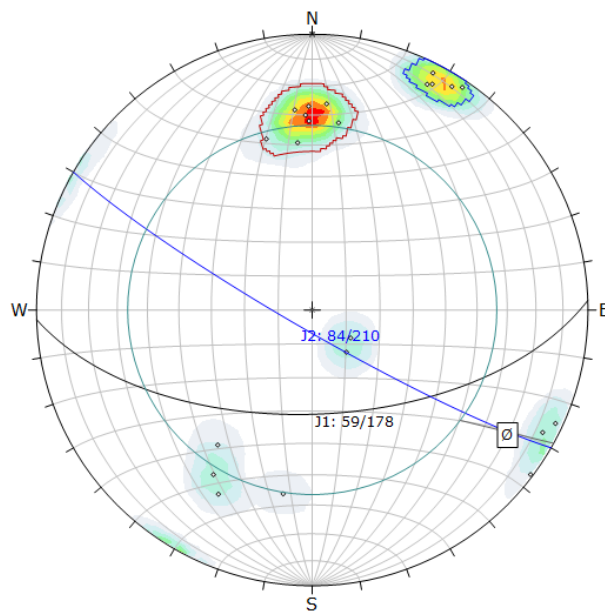


Figura 54. Red estereográfica del tramo 34.

Fuente. El autor, 2017

Una vez realizado este análisis bidimensional se ha podido determinar que los Tramos 1, 8, 16, 19, 20, 24, 27, 28, 29, 31, 32 y 33 presentan las condiciones necesarias para la formación de cuñas tetraedrales, por lo que el análisis tridimensional se efectúa únicamente en estos casos, además se presta mayor atención a la estabilización ya que podrían desencadenar algún accidente si se da el fallamiento de las cuñas.

7.7.2 Análisis tridimensional mediante software Unwedge 3.0

Al procesar estos datos del Tramo 1 se ha determinado la formación de cinco cuñas: dos en el techo, una en la pared izquierda, una en la pared derecha y una en el piso. En el Cuadro 50 se detallan las características de las cuñas formadas.

El principal modo de fallamiento es por deslizamiento, sin embargo la cuña del techo puede caer por caída libre. Las cuñas más inestables son las que se presentan en el techo de la excavación, lo cual se puede apreciarse de mejor manera en la Figura 55.

Cuadro 50. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 1

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
3	Pared izquierda	0.458	0.159	0.694	14.218
4	Techo	0.125	0.043	0.091	158.360
5	Piso	1.447	0.503	Estable ²	No requerido
6	Pared derecha	0.439	0.152	3.655	No requerido
8	Techo	0.012	0.004	0.000	0.000

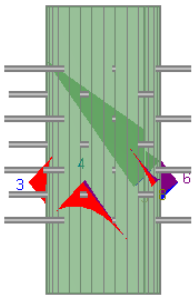
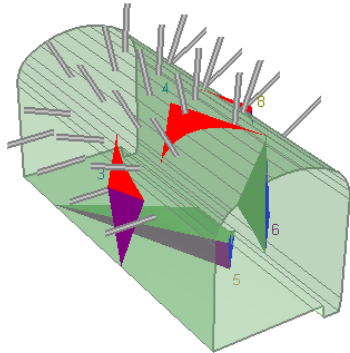
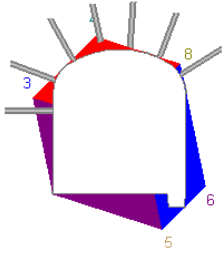
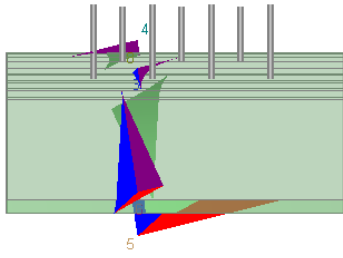
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 55. Disposición de cuñas en el Tramo 1

Fuente: Autor, 2017

² Las cuñas consideradas como estables en este y todos los tramos analizados, se ubican en el piso de la excavación, con lo que no representan peligro por algún tipo de fallamiento.

Se sugiere la colocación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 18 mm de diámetro, con una longitud mínima de 1.00 metros, combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro y 10 x 10 cm de cocada, ubicados en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m. y con traslapes de 0.30 m.

En el Tramo 8, se ha determinado la formación de cuatro cuñas: una en el techo, una en la pared izquierda, una en la pared derecha y una en el piso. En el Cuadro 51 se detallan las características de las cuñas formadas, en donde el principal modo de fallamiento es por deslizamiento. La cuña inestable se presenta en el techo de la excavación, lo cual se puede apreciarse de mejor manera en la Figura 56.

Cuadro 51. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 8

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
2	Piso	0.357	0.125	Estable	No requerido
3	Pared derecha	15.871	5.549	5.062	No requerido
6	Pared izquierda	10.155	3.551	9.875	No requerido
7	Techo	0.003	0.001	0.384	No requerido por su tamaño

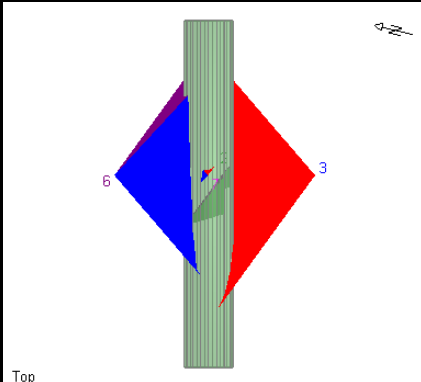
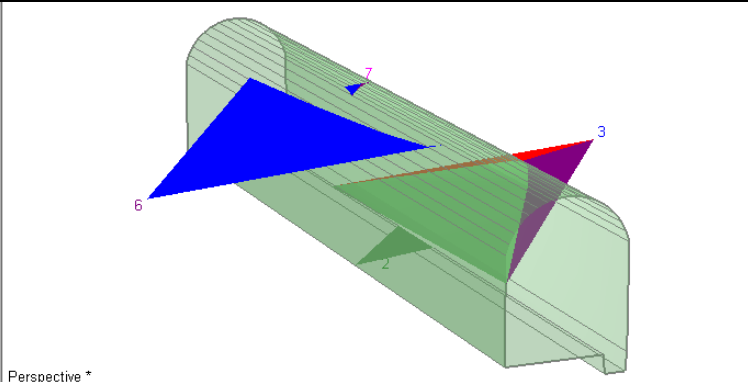
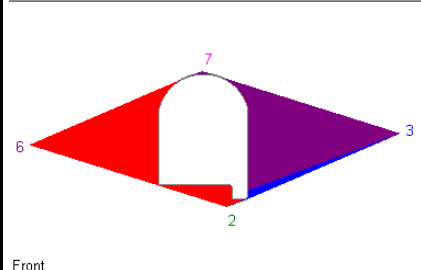
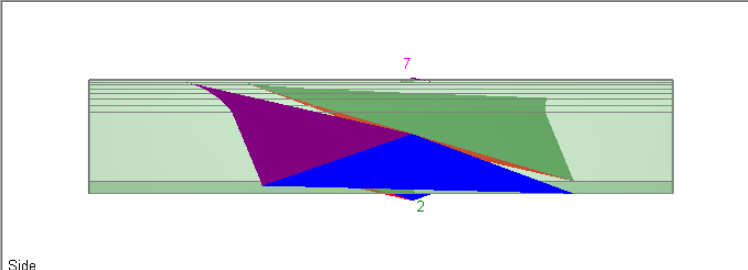
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 56. Disposición de cuñas en el Tramo 8

Fuente: Autor, 2017

Este tramo corresponde a un macizo de Buena Calidad y debido a las condiciones del mismo, no se evidencian inestabilidades.

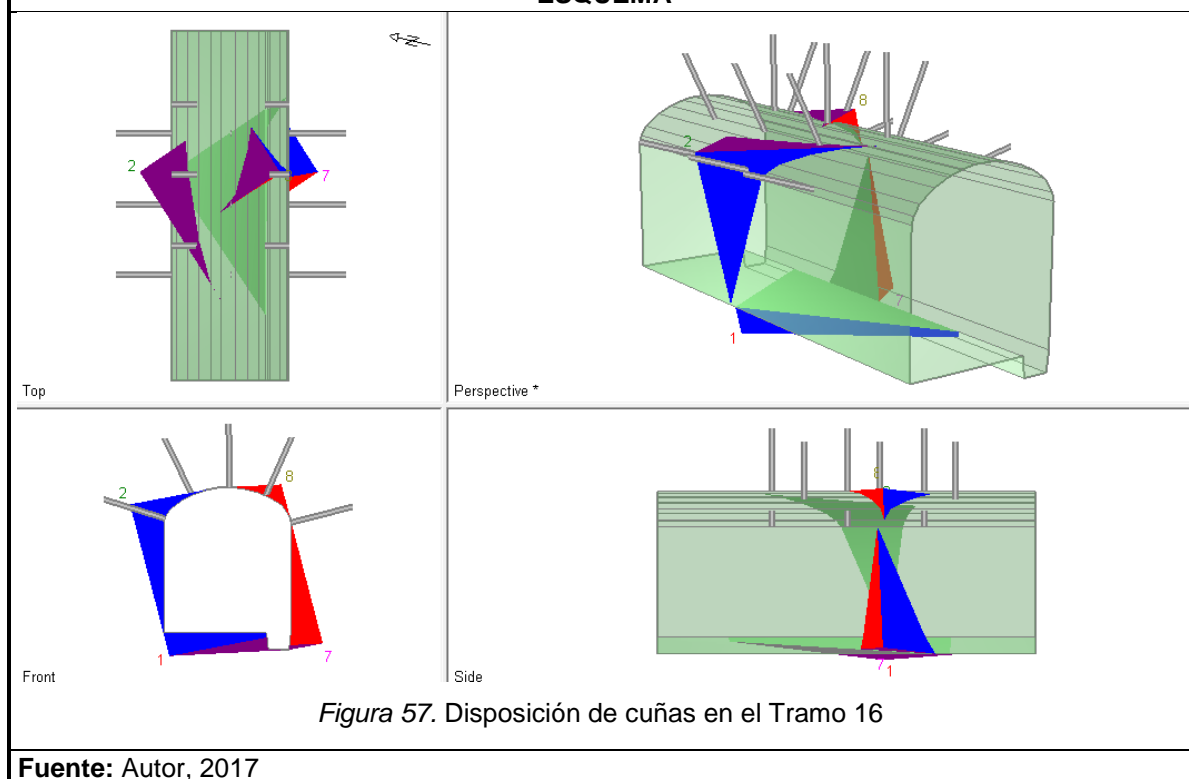
La cuña 7, que se muestra en la Figura 56 no se ha identificado en campo, posiblemente pudo haber caído luego de la voladura. Además, debido a su disposición, las cuñas 3 y 6 presentan un Factor de Seguridad mayor a tres, lo cual indica que no es necesario ubicar medidas de sostenimiento. No obstante se plantea la ubicación de 7 pernos de 18 mm de diámetro, ubicados en el techo: 1 cada 1.5 m. y perpendiculares a la sección de la galería.

En el Tramo 16, se ha determinado la formación de cuatro cuñas: una en el techo, una en la pared izquierda, una en la pared derecha y una en el piso. En el Cuadro 52 se detallan las características de las cuñas formadas. Las cuñas inestables se presentan: una en el techo de la excavación y una que afecta principalmente la pared izquierda y parte del techo, esto se puede apreciar de mejor manera en la Figura 57.

Cuadro 52. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 16

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	1.924	0.673	Estable	No requerido
2	Pared izquierda y parte del techo	0.792	0.277	0.831	42.252
7	Pared derecha	0.525	0.184	13.591	No requerido
8	Techo	0.109	0.038	0.000	167.926

ESQUEMA



Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media con presencia de una pequeña falla dextral y según el diseño elaborado; para la estabilización se deben ubicar 70 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 20 mm de diámetro y 1.0 m de longitud, los cuales deben combinarse con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro y 10 x 10 cm de cocada, ubicados en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m. y con traslapes de 0.30 m. Deben estar dispuestos como se muestra en la Figura 57. Tomando en cuenta que los pernos deben atravesar el plano de falla.

Al procesar estos datos del tramo 19, se ha determinado la formación de seis cuñas, las mismas que afectan una longitud muy baja respecto a la longitud que presenta este tramo y presentan una altura ápice centimétrica a decimétrica, las cuñas se disponen: tres en el techo, una en la pared izquierda, una en el piso y una en la cuneta. En el Cuadro 52 se detallan las características de las cuñas formadas. Las cuñas inestables se presentan en el techo de la excavación lo se puede apreciar de mejor manera en la Figura 58.

Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media en donde las familias de discontinuidades forman pequeñas cuñas las cuales no afectan más de 1.2 metros del tramo ante lo cual no se necesitarían elementos de sostenimiento, bastaría con realizar un buen desquinche, sin embargo al corresponder a un tramo en donde debe garantizarse la seguridad se sugiere la ubicación de 20 pernos de anclaje de 1 m de longitud con una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m. y combinarse con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m., justificándose debido a que servirá para evitar el desprendimiento de pequeñas cuñas especialmente desde el techo de la excavación, los pernos deben ir ubicados como se muestra en la Figura 58.

El análisis de los datos del tramo 20 en el software, muestra la formación de cuatro cuñas: una en el techo, una entre el techo y la pared izquierda, una en la pared derecha y una en el piso. En el Cuadro 54 se detallan las características de las cuñas formadas. Las cuñas inestables se presenta en el techo de la excavación lo cual se puede apreciar de mejor manera en la Figura 59, sin embargo la cuña 4 no es significativa ya que únicamente tiene una altura ápice de 0.104 m, por lo que pudo haber caído en el proceso de voladura.

Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media y las cuñas que se forman no afectan más de 1.5 metros del tramo por lo que un buen desquinche en el techo sería necesario para eliminar fragmentos pequeños.

Pese a las condiciones mencionadas se sugiere ubicar 18 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.2 m. de longitud, 18 mm de diámetro en una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., ubicados perpendicularmente a la sección de la galería como se muestra en la Figura 59.

Cuadro 53. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 19

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso (cuneta)	0.164	0.0573	Estable	No requerido
2	Pared Izquierda	0.001	0.0002	28.920	No requerido
4	Techo	0.019	0.0068	0.634	603.128
5	Piso (cuneta)	0.000	0.0000	17.653	No requerido
7	Techo	0.028	0.0100	0.840	0.840
8	Techo	0.000	0.0001	0.000	0.000

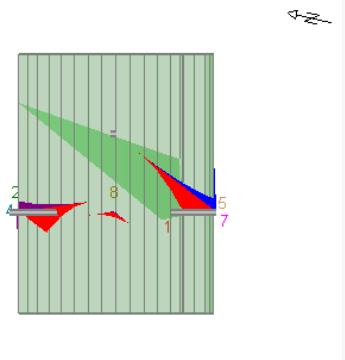
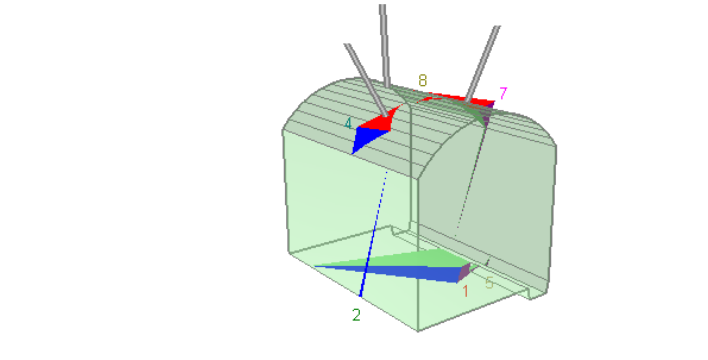
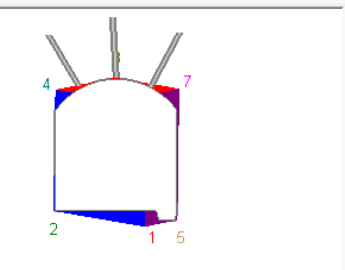
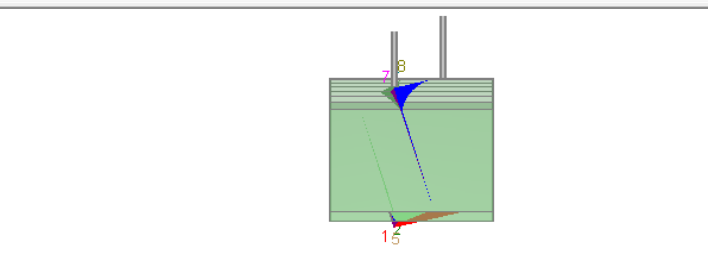
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 58. Disposición de cuñas en el Tramo 19

Fuente: Autor, 2017

Cuadro 54. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 20

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
3	Pared Izquierda/techo	1.1448	0.4288	2.588	15.266
4	Techo	0.0063	0.0024	0.736	0.736
5	Piso	0.3460	0.1296	Estable	No requerido
6	Pared derecha	0.6718	0.2516	62.180	62.180

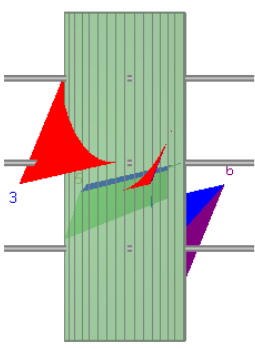
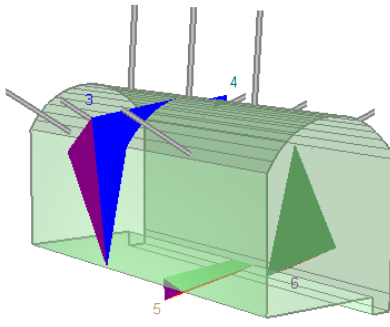
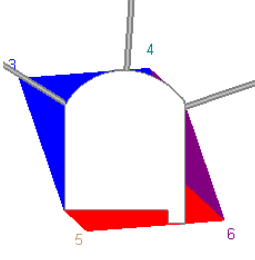
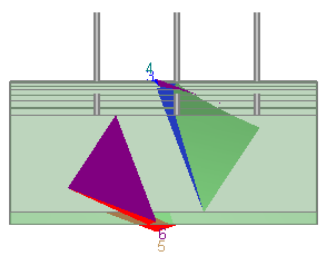
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 59. Disposición de cuñas en el Tramo 20

Fuente: Autor, 2017

El análisis de los datos del tramo 24 en el software Unwedge 3.0 muestra la formación de tres cuñas: dos en el techo y una comprendida entre el piso y la pared izquierda, sus características se detallan en el Cuadro 55 y su disposición se puede apreciar en la Figura 60.

Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media y según las condiciones geomecánicas, no existen problemas de estabilidad, sin embargo se sugiere realizar un desquinche especialmente en la parte superior izquierda, con la finalidad de eliminar la cuña 8 en el caso que aún no haya caído. Con lo descrito anteriormente se podría dejar sin elementos de sostenimiento sin embargo, tomando en cuenta el tamaño de la cuña 5 y para garantizar la seguridad se podrían ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal, de 2.00 m de longitud. Como lo muestra la figura 60 y se detalla en el Anexo 15.

Cuadro 55. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 24

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
4	Piso / Pared izquierda	8.9385	3.1253	Estable	No requerido
5	Techo / Pared derecha	7.0212	2.4550	3.321	8.781
8	Techo	0.0000	0.0000	0.000	0.000

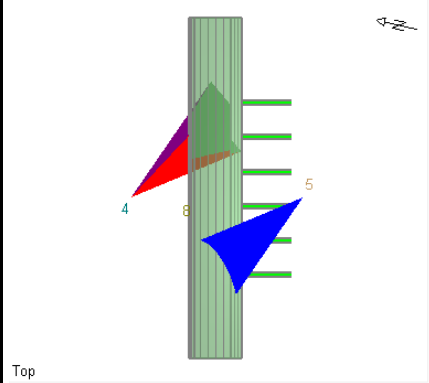
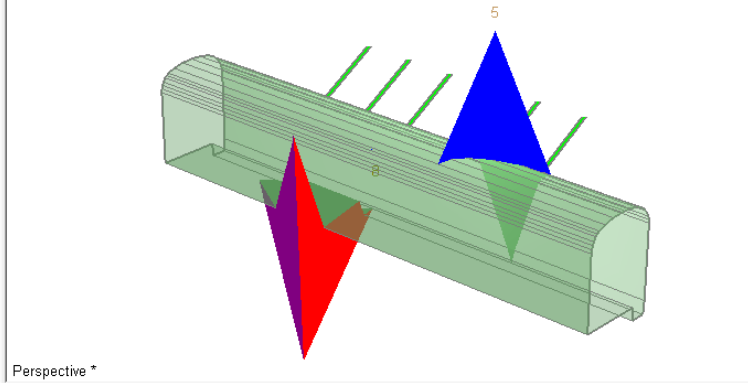
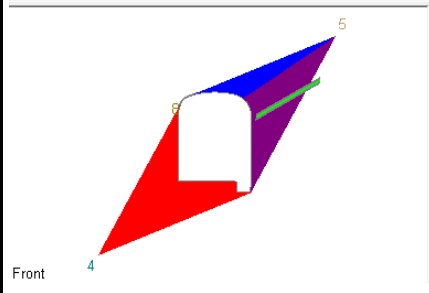
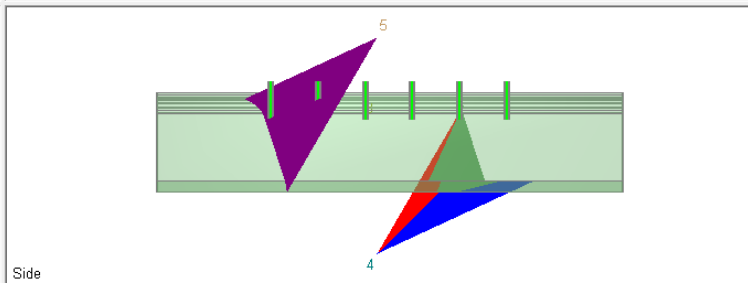
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 60. Disposición de cuñas en el Tramo 24

Fuente: Autor, 2017

El análisis de los datos del tramo 27, muestra la formación de cinco cuñas: dos en el techo, una en el piso, una en la pared izquierda y una en la pared derecha, sus características se detallan en el Cuadro 56 y su disposición se puede apreciar en la Figura 61.

Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media y según las condiciones geomecánicas, se debe tratar con cuidado este tramo debido a la presencia de una falla, además de las condiciones de las discontinuidades, descritas en la caracterización geomecánica.

Para la estabilización se recomienda ubicar 48 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal, los cuales deben tener una longitud mínima de 1.50 m, distribuidos en una malla de 1.2 x 1.2 m, además se los debe combinar con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m. Cabe recalcar que el factor de seguridad mejorará notablemente si se combina el perno con la malla, logrando y garantizando así una buena estabilidad en este tramo. Además se sugiere ubicar una fila de 9 pernos de anclaje de las mismas características en cada pared de la galería, espaciadas a 1.2 m.

Cuadro 56. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 27

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	1.061	0.371	Estable	Estable
4	Pared Izquierda	1.861	0.651	2.225	28.774
5	Pared derecha	2.126	0.743	2.147	23.247
7	Techo	0.025	0.009	0.093	0.093
8	Techo	0.138	0.048	0.000	145.038

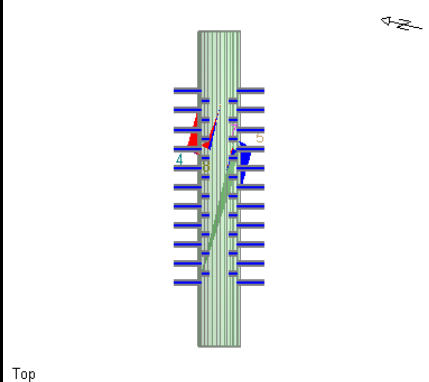
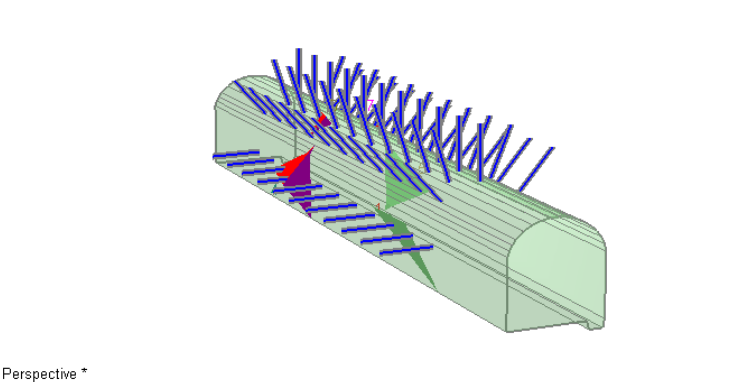
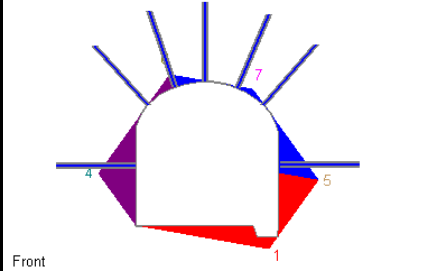
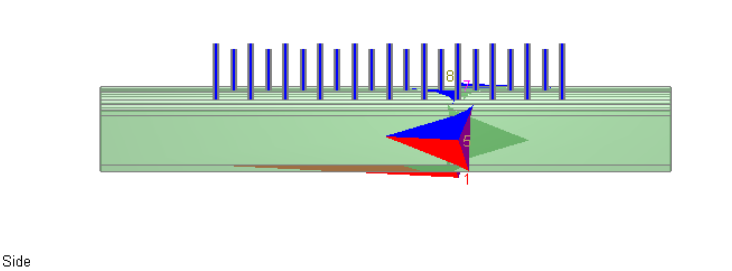
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 61. Disposición de cuñas en el Tramo 27

Fuente: Autor, 2017

El análisis de los datos del tramo 28, muestra la formación de cinco cuñas: dos en el techo, una formada en el piso, una en la pared izquierda y una en la pared derecha, sus características se detallan en el Cuadro 57 y su disposición se puede apreciar en la Figura 62.

Este tramo corresponde a un macizo de Calidad Media y según las condiciones geomecánicas, se debe tratar con cuidado este tramo debido a la presencia de una fractura, la misma que presenta desprendimiento de material, como se puede apreciar en la Fotografía 23, en donde la parte amarillenta de la parte superior corresponde a la zona de desprendimiento de material.

Cuadro 57. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 28

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
2	Techo	0.046	0.016	2.721	308.691
3	Piso	1.795	0.628	Estable	Estable
4	Pared Izquierda	2.042	0.714	2.225	8.355
5	Pared derecha	2.629	0.919	7.488	7.488
6	Techo	0.052	0.018	0.098	0.098

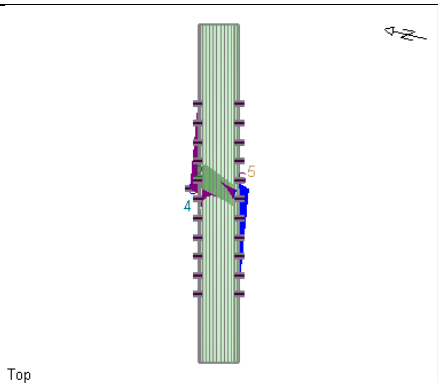
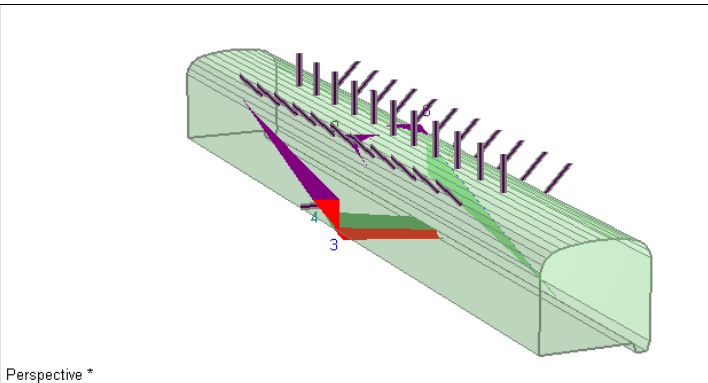
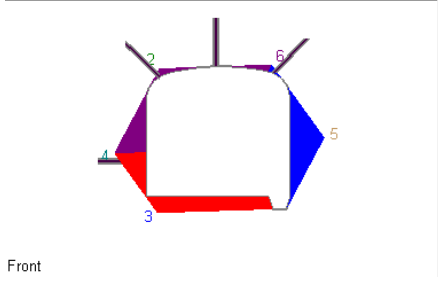
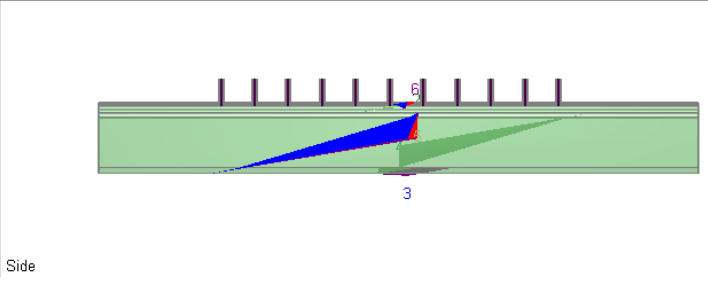
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 62. Disposición de cuñas en el Tramo 28

Fuente: Autor, 2017

Para la estabilización se recomienda ubicar 48 pernos de anclaje de 22 mm de diámetro, ubicados en una malla de perforación de 1.2 x 1.2 m., para la ubicación de los pernos se deben realizar perforaciones desde un punto central con ángulos aproximados de 45° entre pernos. Además se sugiere ubicar un perno en la pared izquierda, con la finalidad de sostener la cuña 4.

Debido a la presencia de una fractura subhorizontal en el techo de la galería se sugiere ubicar malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m.

Cabe recalcar que el factor de seguridad mejorará notablemente si se combina el perno con la malla, logrando así una buena estabilidad en este tramo y evitando cualquier accidente por caída de rocas.

La cuña 2 y la 6 se asume que cayeron una vez que se desprendió el material que se puede observar en la Fotografía 23.



Fotografía 23. Zona de desprendimiento de material desde el techo del tramo 28

Fuente: Autor, 2016.

El análisis de los datos del tramo 29, muestra la formación de tres cuñas, dos en el techo y una en el piso, de las cuales se presta mayor atención a la cuña de la parte derecha del techo ya que la cuña 4 presenta una potencia no mayor a 5 cm, con lo que no representa peligro alguno y por procesos de voladura se asume que ya no se encuentra.

Las características de las cuñas se detallan en el Cuadro 58 y su disposición se puede apreciar en la Figura 63.

Dadas las condiciones se ha determinado que la longitud adecuada de los pernos de anclaje es de 1.80 m y 20 mm de diámetro y debido al ancho de la galería en este tramo, se sugiere la ubicación de 56 pernos en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m, combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m. Los pernos deben ir ubicados perpendicularmente a la sección de la galería.

Cuadro 58. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 29

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
3	Piso	11.477	4.013	Estable	Estable
4	Techo (izquierda)	0.001	0.001	0.240	0.240
6	Techo (derecha)	3.854	1.347	0.191	13.378

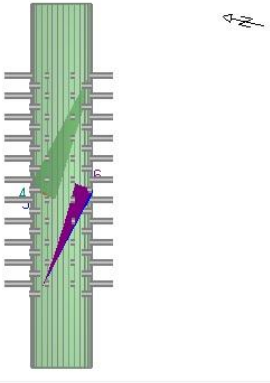
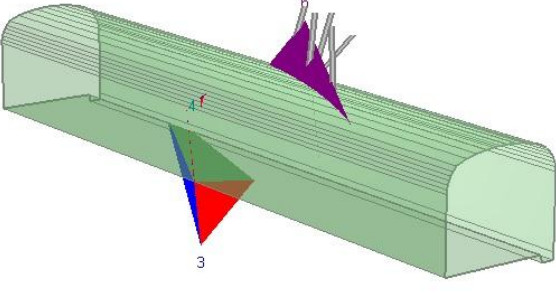
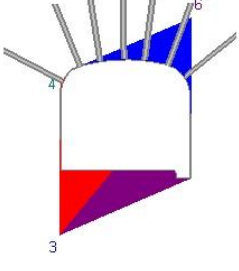
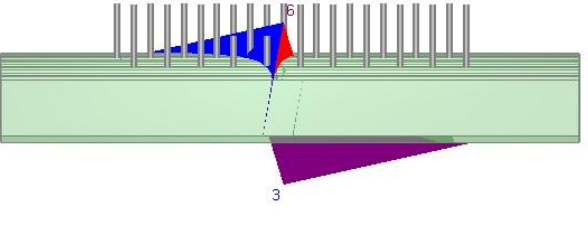
ESQUEMA	
 <p>Top</p>	 <p>Perspective *</p>
 <p>Front</p>	 <p>Side</p>

Figura 63. Disposición de cuñas en el Tramo 29

Fuente: Autor, 2017

El análisis de los datos del tramo 31, muestra la formación de cinco cuñas: dos en el techo, una en la pared izquierda, una en la pared derecha y una en el piso. Las cuñas del techo son las que mayor inestabilidad pueden presentar, sin embargo la cuña 8 es muy probable que haya caído en el proceso de perforación y voladura, el resto de las cuñas son decimétricas y no presentan potencias mayores a 0.27 m.

La cuña del piso se denota como 5s debido a que se encuentra escalada ya que el tramo comprende 10 m., pero la cuña podría extenderse hasta los 13.4 m., sin embargo debido a su ubicación, no presenta peligro alguno. Las características de las cuñas consideradas se detallan en el Cuadro 59 y su disposición se puede apreciar en la Figura 64.

Este tramo comprende un macizo de calidad media y no se ha evidenciado problemas de estabilidad, sin embargo se recomienda ubicar 24 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.00 m. de longitud, ubicados de manera perpendicular a la sección de la galería y con una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m.

Cuadro 59. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 31

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
2	Pared derecha	0.1140	0.0389	9.035	No requerido
4	Lado derecho del techo	0.1411	0.0481	2.861	51.000
5s	Piso	1.1439	0.3563	193.280	No requerido
7	Pared izquierda	0.2118	0.0723	0.481	59.692
8	Techo	0.0066	0.0022	0.000	0.000

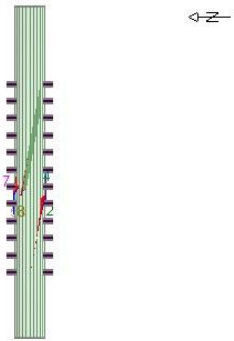
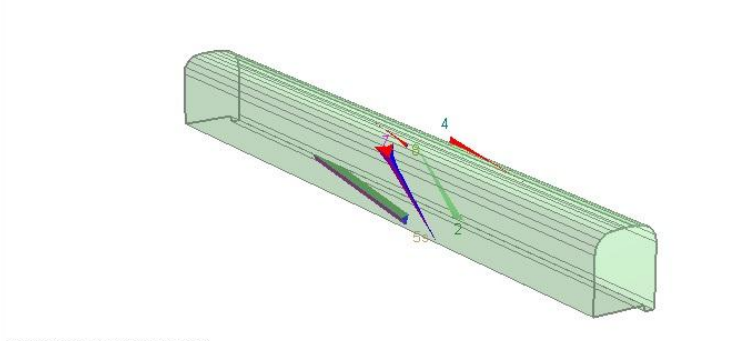
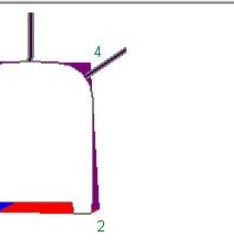
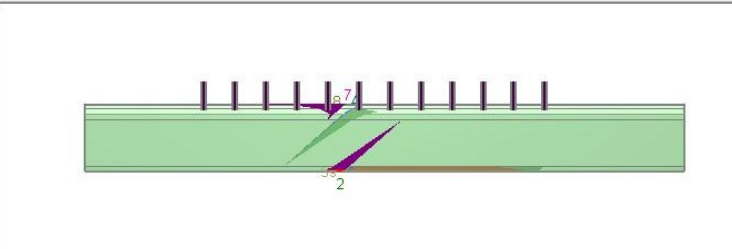
ESQUEMA	
 <p>Top - Wedge 5 Scaled</p>	 <p>Perspective - Wedge 5 Scaled *</p>
 <p>Front - Wedge 5 Scaled</p>	 <p>Side - Wedge 5 Scaled</p>

Figura 64. Disposición de cuñas en el Tramo 31

Fuente: Autor, 2017

En el caso del tramo 32 se presenta un macizo de calidad media en donde se muestra la formación de cinco cuñas: dos en el techo, una en la pared izquierda, una entre la pared derecha y el piso y una en el piso. Las cuñas del techo son las que mayor inestabilidad pueden presentar, sin embargo las cuñas 6 y 8 es muy probable que hayan caído en el proceso de perforación y voladura. La cuña 2 debido a su disposición y características de las discontinuidades, presenta un autosostenimiento y no presentará fallamiento por ningún tipo. Las características de las cuñas consideradas se detallan en el Cuadro 60 y su disposición se puede apreciar en la Figura 65.

Se plantea la ubicación de dos filas de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.0 m de longitud y 20 mm de diámetro, dispuestos en el techo en una malla de 1.2 x 1.4, además de una fila de pernos de 1.50 m. en la pared derecha de la galería espaciados entre sí 1.4 m.

Cuadro 60. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 32

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	1.088	0.371	Estable	No requerido
2	Pared izquierda	4.786	1.633	93.529	No requerido
6	Techo	0.089	0.030	0.584	140.638
7	Pared derecha y techo	12.096	4.128	8.116	11.916
8	Techo	0.002	0.001	0.000	0.000

ESQUEMA


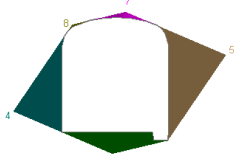
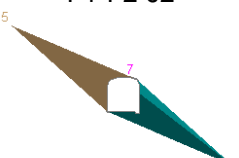

Figura 65. Disposición de cuñas en el Tramo 32

Fuente: Autor, 2017

El tramo 33 comprende un macizo con índice RMR = 47, considerado en la parte inferior de la categoría de calidad media el cual se ve afectado principalmente por dos fallas y a 576 metros desde la bocamina se presenta desprendimiento de material blando desde el techo y parte de la pared derecha de la galería, al final del tramo igualmente se presenta el macizo alterado en la pared izquierda, esta alteración se da por la presencia de una falla y de estructuras mineralizadas cuyos fluidos hidrotermales pudieron contribuir a esta alteración.

Dadas las condiciones in situ se puede apreciar la formación de varias cuñas que se forman al combinar los cuatro sistemas de familias de discontinuidades, mismas que se detallan en el Cuadro 61.

Cuadro 61. Características de las cuñas formadas en el tramo 33 por la intersección de las familias de discontinuidades

Combinación	N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	Altura ápice (m)	FS Barton – Bandis Sin soporte
 <p>F1-F2-J1</p>	1	Piso	6.378	2.177	0.71	Estable
	3	Pared derecha	22.481	7.673	1.63	6.870
	6	Pared izquierda	24.837	8.477	1.69	0.898
	8	Techo	0.375	0.128	0.27	0.000
 <p>F1-J1-J2</p>	2	Piso	3.033	1.035	0.60	Estable
	4	Pared izquierda	5.735	1.957	1.33	14.332
	5	Pared derecha	9.610	3.280	1.58	2.225
	7	Techo	0.072	0.024	0.16	2.673
	8	Techo	0.005	0.002	0.06	0.000
 <p>F1-F2-J2</p>	4	Pared derecha/Piso	191.923	65.503	9.60	Estable
	5	Pared izquierda/Techo	208.254	71.076	10.14	13.927
	7	Techo	0.000	0.000	0.0002	2.225
 <p>F2-J1-J2</p>	1	Piso	18.683	6.376	1.61	Estable
	4	Pared izquierda	4.582	1.564	0.86	0.909
	5	Pared derecha	6.035	2.060	0.94	2.225
	8	Techo	5.557	1.897	1.12	0.000

Fuente: Autor, 2017

De los análisis realizados y las condiciones in situ se puede concluir que las combinaciones F1-F2-J1 y F2-J1-J2 presentan las cuñas con mayor posibilidad de fallamiento, habiéndose constatado en campo la caída de material desde el techo, la cual correspondería a la cuña 8 de la combinación F1-F2-J1, sin embargo la cuña 4 no se ha presenciado y se asume que pudo haberse eliminado debido a que la zona comprende una zona de intersección con la galería de la veta Rosita, con lo que el sostenimiento se ha determinado en base a la combinación F2-J1-J2, para ello se considera pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.50 m. de longitud y 22 mm de diámetro, dispuestos en una malla de 1.2 x 1.2 m. (ver detalle en Anexo 15), combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm, y con traslapes de 0.30 m. En el Cuadro 62 se muestran las nuevas condiciones del tramo ya con sostenimiento, lo cual puede apreciarse en la Figura 66.

Cuadro 62. Características de las cuñas tetraedrales formadas en el Tramo 33

N° Cuña	Zona afectada	Peso (T)	Volumen (m ³)	FS Barton – Bandis	
				Sin soporte	Con soporte
1	Piso	18.683	6.376	Estable	Estable
4	Pared izquierda	4.582	1.564	0.909	5.703
5	Pared derecha	6.035	2.060	2.225	8.492
8	Techo	5.557	1.897	0.000	10.989

ESQUEMA

Figura 66. Disposición de cuñas en el Tramo 33

Fuente: Autor, 2017

8. DISCUSIÓN

Los estudios geológicos realizados en la zona y que han sido divulgados, centran sus publicaciones el sector de Bella Rica, especialmente en los pórfidos de Gaby y Papa Grande, los cuales presentan un interés económico para su explotación, además de las vetas relacionadas a éstos pórfidos.

En el sitio de estudio se han desarrollado desde hace varios años actividades mineras correspondientes a minería artesanal o pequeña minería en vetas relacionadas a los pórfidos mencionados, sin llevar a cabo estudios detallados de las condiciones geológicas, estructurales y/o geomecánicas, es por ello que los resultados obtenidos en este trabajo se pueden discutir principalmente con la geología que se menciona en otros estudios ya que de la parte geomecánica no se ha encontrado información de minas cercanas.

En cuanto a la geología se ha podido corroborar lo que menciona la geología regional según los informes de Cordillera Occidental del año 1997, específicamente el Reporte N° 1, presentado por Pratt Warren, Figueroa Juan & Flores Bolívar en la obra *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00' and 4°00'S*, así como el Reporte N° 2 presentado por Dunkley Peter & Gaibor Alina en la obra *Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°00' and 3°00'S* y el 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 se han encontrado basaltos, los mismos que presentan coloraciones verdes hasta grisáceas a negras, en donde además se ha podido evidenciar las estructuras almohadilladas de éstos; según lo observado en campo, éstas litologías pertenecen a la Unidad Pallatanga, definida por McCourt et al., 1977.

Además en la obra *Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador. Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real*, volumen 4, del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA) en el año 2000, se menciona que los pórfidos de Gaby – Papa Grande son sistemas de brecha-pórfido de Au–Cu de tipo volcánico, del Mioceno Inferior, emplazados en las vulcanitas máficas de la Unidad Pallatanga y cabe mencionar que el área de Minervilla abarca una pequeña parte del pórfido Gaby, por lo cual se comprueba que los basaltos del área pertenecen a esta Unidad.

Así mismo se menciona que éstos depósitos comprenden fases intrusivas múltiples (diorítica/andesítica a tonalítica/dacítica) texturalmente diversas que varían en forma desde jarros panzudos tempranos a tapones y diques de estadio tardío asociados con el emplazamiento de chimeneas de brechas; el trabajo de campo se corrobora ya que se han encontrado 5 diques en la galería principal de transporte, específicamente a 145, 209, 335, 357 y a 410 metros desde la bocamina, cuya composición varía entre dacítica a diorítica, además las muestras correspondientes al pórfido ubicado al extremo Sureste de las vetas Lupe y Rosita sugieren que son de composición dacítica y de igual manera, los cuerpos intrusivos mapeados en superficie se puede observar que son de composición diorítica, lo cual se correlaciona con la geología regional específicamente con la hoja de la geología de la Cordillera Occidental de Ecuador entre 3°00' and 4°00'S.

En la obra de Prodeminca mencionada anteriormente también se indica que los sistemas de vetas auríferas epi – mesotermiales de Bella Rica y San Gerardo están alojados en bloques fallados adyacentes del Terreno Pallatanga y que en Bella Rica el principal enjambre de vetas tiene rumbo NW y localmente WNW a E-W. Hay una relación espacial y genética clara con las intrusiones de pórfidos en términos de alteración – mineralización y características paragenéticas. Lo descrito anteriormente de igual manera se ha podido corroborar en campo ya que las vetas: Milagro, Lupe y Rosita tienen una dirección preferencial NW – SE, lo que ocurre de manera similar con los diques encontrados. Los minerales de mena de las vetas encontradas corresponden a los yacimientos de tipo epitermal de baja sulfuración.

La geología regional descrita difiere con la geología que se plantea en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Camilo Ponce Enríquez en la fase de actualización 2014 – 2015, ya que aquí ubica la mayor parte del área dentro de la Formación Piñón.

Publicaciones de estudios geomecánicos en el área de estudio no se han encontrado, sin embargo se puede mencionar que las ecuaciones para calcular la longitud de los pernos de anclaje planteadas por Barton, et al. 1980, y que se indican en la obra: Introducción a la Ingeniería de Túneles de Gavilanes, H., y Andrade, B. (2004), se adaptan a las condiciones de la galería principal de transporte y sugieren una longitud que garantiza la estabilidad de la galería, además los parámetros que se consideran en el artículo “Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca” escrito por Emiliano Mauro Giraldo Paredes en el 2011, perteneciente a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para la determinación de la longitud adecuada de diferentes tipos de pernos, se adaptan también al software empleado (Unwedge 3.0).

Así que; para determinar la longitud de los pernos de anclaje en sectores donde se forman cuñas tetraedrales se ha seguido esta metodología, comprobándola con los datos del software, el cual arroja datos más reales ya que considera parámetros de las discontinuidades así como parámetros mecánicos y de ubicación de los pernos de anclaje.

Al encontrarse dentro de una litología competente, la galería de estudio se correlaciona con las condiciones geomecánicas descritas por José Cuervas (2014-2015), al encontrarse macizos de calidad Media y Buena en la mina San Juan.

9. CONCLUSIONES

- La litología a nivel superficial como subterráneo del área de estudio comprende un complejo ígneo que abarca rocas volcánicas de composición basálticas con contenidos de sílice entre 41% y 50% según ensayos de Fluorescencia de Rayos X (FRX), presentan textura afanítica, estructura masiva y de coloración gris verdoso, gris oscuro a negro, intruidas por cuerpos porfídicos que podrían tratarse de diques, los mismos que corresponden a: cuarzoandesitas porfídicas de hornblenda, dacita porfídica de hornblenda y cuarzo diorita de hornblenda, mismos que se relacionan con el pórfido Gaby el cual se encuentra ubicado al Sureste y al Este del área en estudio.
- Superficialmente los basaltos presentes en el área constituyen las rocas con mayor resistencia a la meteorización, sin embargo al Suroeste del área las rocas se encuentran con un considerable grado de meteorización, lo cual puede deberse a las condiciones climáticas del sector, a las condiciones hidrogeológicas y la composición de las mismas, lo que pudo haber provocado que las rocas aflorantes en este sector, se encuentren muy alteradas, presentándose a manera de saprolito.
- Las principales estructuras encontradas tanto en superficie como en subterráneo corresponden a vetas, vetillas y fallas, de las cuales las vetas y vetillas compuestas principalmente de cuarzo y sulfuros, tienen una dirección preferencial NW-SE, con una potencia no mayor a los 30 centímetros y tienden a concentrarse en el Pórfido Gaby.
- Las estructuras mineralizadas exploradas y explotadas corresponde a las vetas: Milagro, Lupe, Azul y Rosita, las cuales presentan buzamientos pronunciados, excepto la veta Azul que posee buzamientos entre 20° a 45°. Mineralógicamente la veta Milagro con 12 centímetros promedio de potencia se constituye principalmente de pirita, magnetita, pirrotina, oro, además de cuarzo y calcita, posee una densidad de 3.17 g/cm³. La veta Lupe con una densidad de 4.08 g/cm³ y una potencia promedio de 10 centímetros se conforma principalmente de pirita, calcopirita, pirrotina, bornita, magnetita y oro en una matriz de cuarzo. La veta Azul se constituye en una brecha hidrotermal, la cual tiene una potencia muy variable que oscila entre los 20 centímetros hasta 1.0 metros, presenta una matriz rica en sílice, minerales de mena como: estibina, valentinita, pirita, oro y plata, minerales de ganga como: calcita, cuarzo, plagioclasa, posee una densidad de 2.85 g/cm³ y un halo de alteración de 40 cm promedio a cada lado de las paredes de la veta. La veta Rosita, con una potencia promedio de 25 centímetros y una densidad de 3.62 g/cm³., comprende entre los minerales de mena a la pirita, calcopirita y oro y minerales de ganga al cuarzo y la calcita.

- De las fallas encontradas, se evidencia una predominancia de las fallas de tipo normal, además se presenta una falla de tipo dextral a 301 metros de la bocamina y una normal con componente sinistral a 472 metros de la bocamina; el sentido de movimiento ha sido determinado gracias a los indicadores cinemáticos como son las estrías y escalones de falla, además, tanto la veta Rosita como la veta Milagro presentan indicadores cinemáticos que sugieren movimientos de tipo normal, posteriores a la formación de las vetas mencionadas.
- El macizo rocoso de la galería principal de transporte comprende calidades Malas, Medias y Buenas, con predominancia de macizo de Clase III, en donde los índices RMR más bajos se presenta en los tramos 1, 4 y 27, justificándose ya que los tramos 1 y 4 están más expuestos a superficie y comprenden a la veta – falla La Suca, mientras que el tramo 27 comprende una falla de aproximadamente un metro de potencia. De igual manera, los índices RMR más elevados se encuentran entre los tramos 5 y 14, debido a las condiciones geomecánicas de los mismos, especialmente al parámetro de agua subterránea.
- El principal elemento de sostenimiento que se sugiere son los pernos de anclaje de tipo barra helicoidal, determinados en función del tipo de acero, diámetro y longitud, esto debido a que se constituyen en un sistema de sostenimiento permanente de alta adherencia y por lo tanto de elevada capacidad de anclaje; sin embargo existen tramos en donde se deben combinar los pernos de anclaje con malla electrosoldada con la finalidad de evitar la caída de material que presente características de desprendimiento como por ejemplo pequeñas cuñas que se puedan formar o material alterado como el que se presenta en el Tramo 28.
- Del análisis cinemático se puede determinar que existen 12 tramos en donde se forman cuñas teraedrales con diferentes características, estos tramos son: 1, 8, 16, 19, 20, 24, 27, 28, 29, 31, 32 y 33, el resto de tramos comprende un macizo que se puede decir que cuenta con autosostenimiento ya que no se ha evidenciado problemas de estabilidad y se presentan menos de tres familias de discontinuidades.
- Al analizar los datos en el software Unwedge, se tiene una visión más clara de los sectores en donde se forman las cuñas tetraedrales, además de la cantidad, peso, volumen, el tipo de fallamiento que puede presentar, entre otros datos, a diferencia del análisis en el software Dips en el cual únicamente se ha podido determinar el sentido de fallamiento.

- En base a las clasificaciones geomecánicas y a los cálculos descritos se ha llegado a la conclusión que para macizos de mala calidad, macizos de calidad media que tengan índices RMR entre 41 y 50, macizos afectados por falla o gran meteorización y sectores donde se formen potenciales cuñas, se deben emplear pernos de anclaje de tipo barra helicoidal en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m y combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m. Para aquellos tramos de calidad media, que presenten índices RMR entre 51 a 60 se deben ubicar pernos de anclaje de tipo barra helicoidal en una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m y para macizos de buena calidad, que presenten índices RMR entre 61 a 80 se deben ubicar pernos de tipo barra helicoidal de 1.5 m de longitud, ubicados aleatoriamente cada 1.5 m.
- Los pernos de tipo barra helicoidal, los cuales para este caso se han calculado capacidades entre 12 y 24 toneladas, se constituyen en pernos de alta adherencia debido a la presencia de los resaltos de la barra, mismos que dan una buena condición mecánica para la obtención de una elevada capacidad de anclaje, con lo cual se constituyen en pernos permanentes que pueden combinarse con malla y así garantizar estabilidad a la galería.

10. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo un muestreo detallado de la veta Rosita y de las vetas que se encuentren posteriormente y que sean factibles de explotación, esto con la finalidad de determinar los sectores más enriquecidos y evitar explotar material que en este momento no sea rentable, además se debe considerar la litología ya que de lo observado; conforme las vetas se acercan y entran al pórfido, tienden a perderse y disminuir su contenido mineral, por lo tanto, se debe poner más énfasis a la explotación de las vetas que tengan como roca encajonante las rocas basálticas y prestar mucha atención a los resultados de muestreo de las vetas que presentan rocas porfídicas como roca encajonante.
- Efectuar un análisis mineralógico y metalúrgico a detalle de los minerales de mena presentes en las vetas, con la finalidad de determinar el método de tratamiento y beneficio adecuado, ante lo cual se recomienda tratar por separado el material de las vetas, especialmente la veta Azul debido a la presencia de antimonio y arsénico.
- Se sugiere avanzar con el pique en la veta Lupe para preparar y desarrollar niveles hacia la parte inferior donde es probable que los valores de oro incrementen. Además se debe nivelar y corregir las inclinaciones del pique, llevando una sección regular, con la finalidad de evitar desencarrilamientos del balde.
- Ampliar la sección de la galería principal de transporte; desde la bocamina hasta 547 metros con la finalidad de facilitar el transporte de la maquinaria y personal, así mismo se deben corregir los rieles de esta galería para evitar desencarrilamientos; este ensanchamiento podría eliminar algunas cuñas formadas, especialmente en el techo, ante lo cual sería necesario realizar un nuevo análisis en los tramos ensanchados.
- Realizar un desquinche integral en las galerías más transitadas y llevar a cabo un monitoreo permanente debido a que las condiciones geomecánicas pueden resultar variantes al irse reacomodando los esfuerzos.
- De acuerdo a las características geomecánicas de los tramos mapeados, los sectores con presencia de potenciales fallas y/o fracturas que presenten desprendimiento deben tratarse primordialmente con la combinación de pernos de anclaje y malla electrosoldada y dependiendo de las características in situ, para posteriores tramos se consideraría la ubicación de cerchas metálicas.
- Se debe comprobar la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa mediante el ensayo de probetas tomadas en distintos puntos de la misma litología, así mismo, al determinar la resistencia de las paredes de las discontinuidades se deben emplear los ábacos y/o expresiones matemáticas acorde al tipo de esclerómetro a emplearse.

- Los pernos de anclaje seleccionados deben ser de tipo barra helicoidal, tener una resistencia a la tracción mínima de 6330 Kg/cm^2 , tener un diámetro promedio de 22 mm, un diámetro de perforación de 32 mm. y rellenos con lechada de hormigón, mientras que las mallas electrosoldadas deben ser de 6 mm de diámetro y cocada de 10 x 10 cm, con traslapes de 0.30 m.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Camargo, J. A. (2004). *Manual de Geología Estructural*. Bogotá: Universidad Surcolombiana.
- Cuervas-Mons González de Sela J. (2015). Estudio geológico-estructural y análisis geomecánico en la mina San Juan; distrito minero Ponce Enríquez, provincia Azuay, Ecuador (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra, Guayaquil, Ecuador.
- De Sitter, L. U. (1976). *Geología Estructural*. Barcelona: Omega.
- Dunkley P. & Gaibor A. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°00' and 3°00'S, Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. Programa de Información Cartográfica y Geológica. Reporte Número 2. Quito – Ecuador.
- Estruch, M., & Tapia, A. (2006). *Topografía subterránea para minería y obras*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Ferrer, R. (1987). *Topografía Minera II*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Gattinoni, P., Pizzarotti, E. M., & Scesi, L. (2014). *Engineering geology for underground works*. Springer.
- Gavilanes, H., & Andrade, B. (2004). *Introducción a la Ingeniería de túneles*. Quito: Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Otuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. British Columbia.
- Huang, W. T. (2013). *Petrología*. México D.F.: Limusa, S.A. de C.V.
- Irondo, M. H. (2007). *Introducción a la Geología*. Córdoba: Brujas.
- Klein, C., & Hurlbut, C. (2006). *Manual de Mineralogía*. Barcelona: Reverté S.A.
- McCourt, W., Duque, P. & Pilatasig, L. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1°00' and 2°00'S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. Programa de Información Cartográfica y Geológica. Reporte Número 3. Quito – Ecuador.
- Meléndez, B., & Fúster, J. (1981). *Geología*. Madrid: Paraninfo.

- Paladines, A., & Soto, J. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. Loja, Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Pérez, P. A. (2010). *Topografía*. Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Pozo, M., González, J., & Giner, J. (2007). *Geología Práctica, Introducción al Reconocimiento de Materiales y Análisis de Mapas*. Madrid: Pearson Educación.
- Pratt W., Figueroa J. & Flores B. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3°00' and 4°00'S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. Programa de Información Cartográfica y Geológica. Reporte Número 1. Quito – Ecuador.
- Ragan, D. M. (1980). *Geología Estructural*. Barcelona: Omega S.A.
- Ramírez, P., & Alejano, N. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*. Barcelona.
- Ramírez, P., De la Cuadra, L., Laín, R., & Grijalbo, E. (1991). *Mecánica de rocas aplicada a la minería metálica subterránea*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía. Comité de Seguridad Industrial. (2004). Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas. Perú.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la Geología Física*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Torres, A., & Villate, E. (2000). *Topografía*. Bogotá: Brujas.
- Vallejo, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late cretaceous-Paleogene)*. Zürich.
- Vega Oyola, Armando. (2013). Cálculo de Reservas de la Veta “Paraíso” Mina Paraíso – Distrito Ponce Enríquez (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra, Guayaquil, Ecuador.

12. ANEXOS

Anexo 1.: Registro Fotográfico



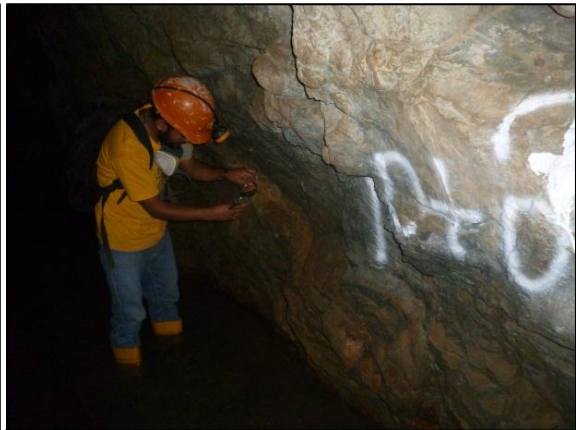
Fotografía 1. Toma de datos para el afloramiento # 8.



Fotografía 2. Medición de datos estructurales en diaclasa de pared izquierda de la galería principal de transporte.



Fotografía 3. Toma de datos estructurales en el techo de la galería principal de transporte.



Fotografía 4. Medición de datos estructurales de una vetilla presente en la galería principal de transporte.



Fotografía 5. Medición de la rugosidad mediante el empleo del Peine de Barton.



Fotografía 6. Contacto entre basalto y cuarzoandesita porfídica de hornblenda.



Fotografía 7. Vetilla de feldespato ubicada a 94 metros de la bocamina.



Fotografía 8. Vetilla de feldespato y epidota presente a 97 metros desde la bocamina.



Fotografía 9. Corte de una muestra de la veta Milagro. Nótese el escaso contenido de cuarzo.



Fotografía 10. Muestra de la veta Lupe. Puede apreciarse la presencia de cuarzo y sulfuros.



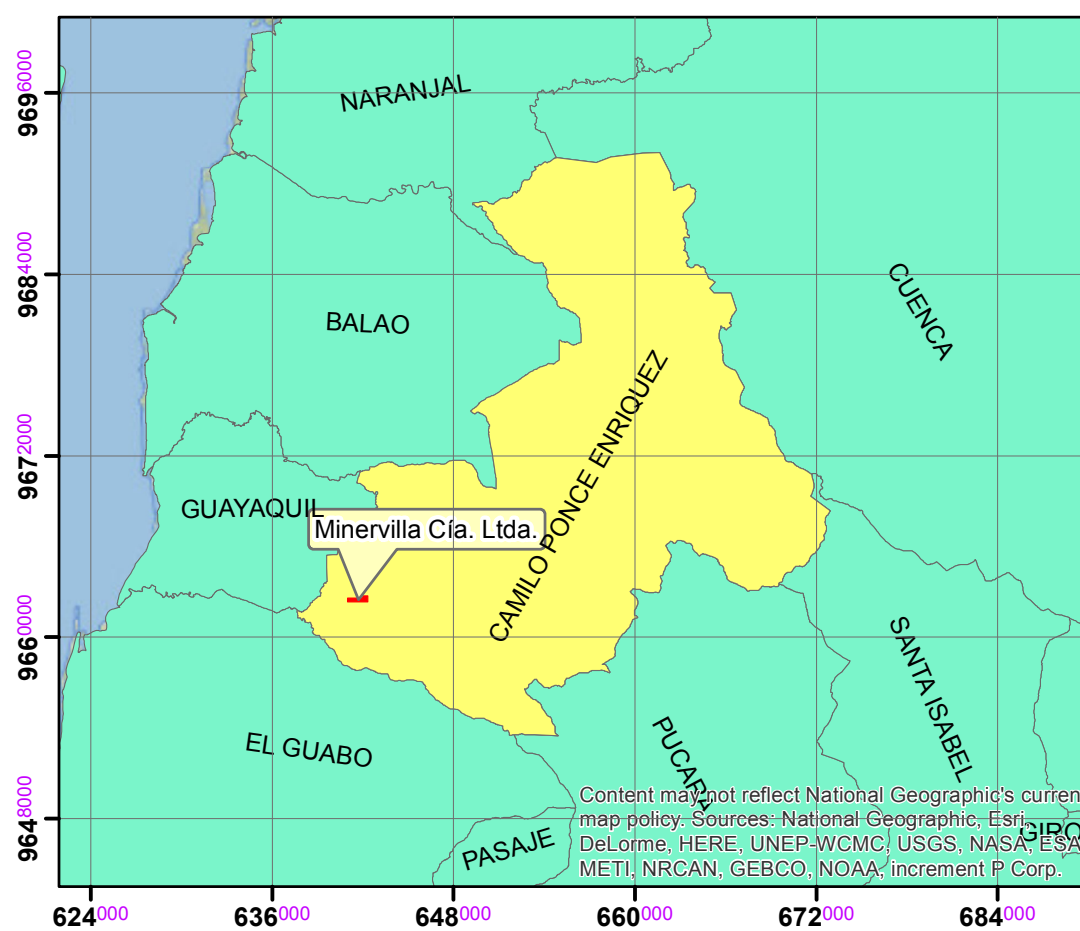
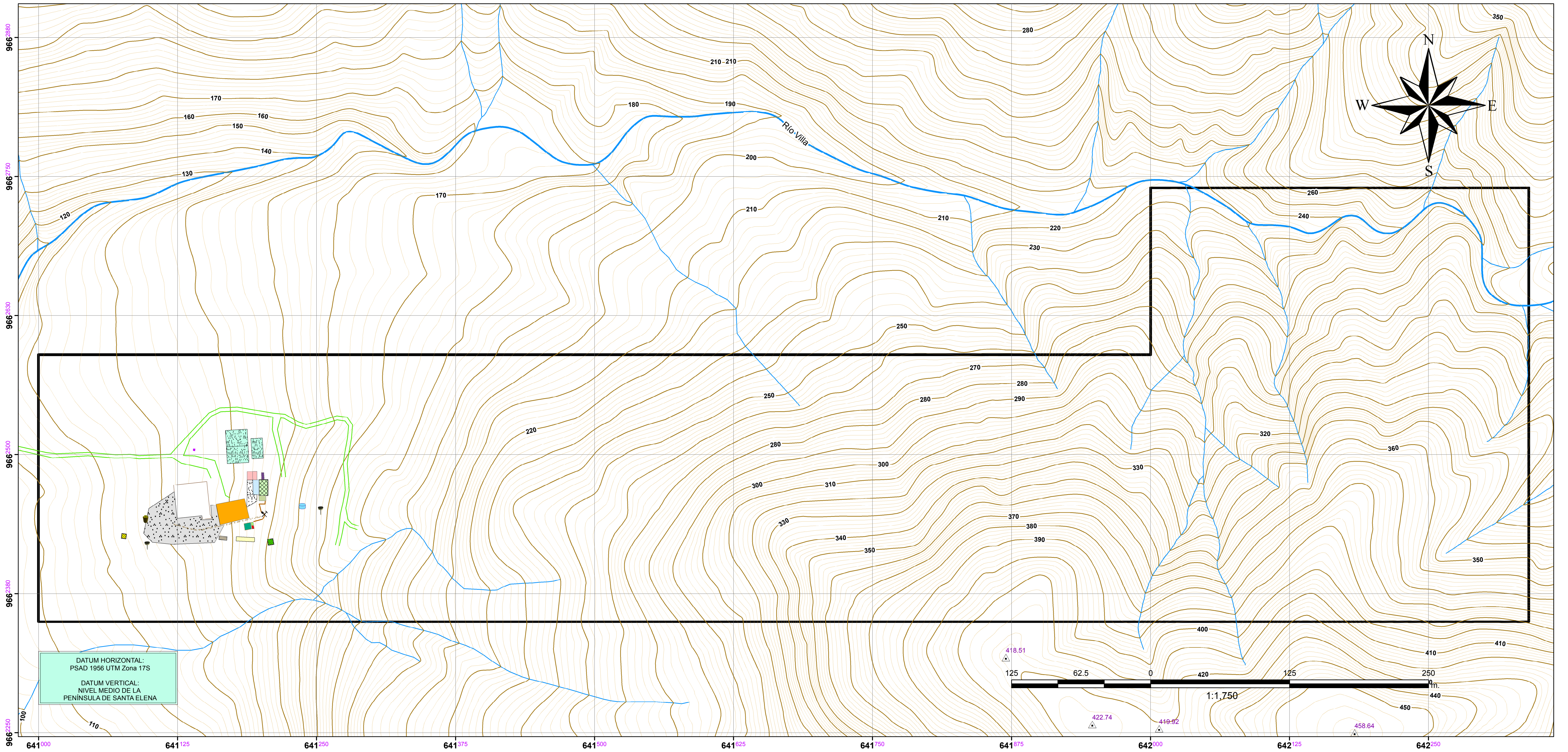
Fotografía 11. Determinación del peso específico de rocas mediante el método del picnómetro.



Fotografía 12. Prensa empleada para la determinación de la Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

Anexo 2.: Topografía Superficial del área minera
Minervilla

TOPOGRAFÍA SUPERFICIAL DEL ÁREA MINERA MINERVILLA

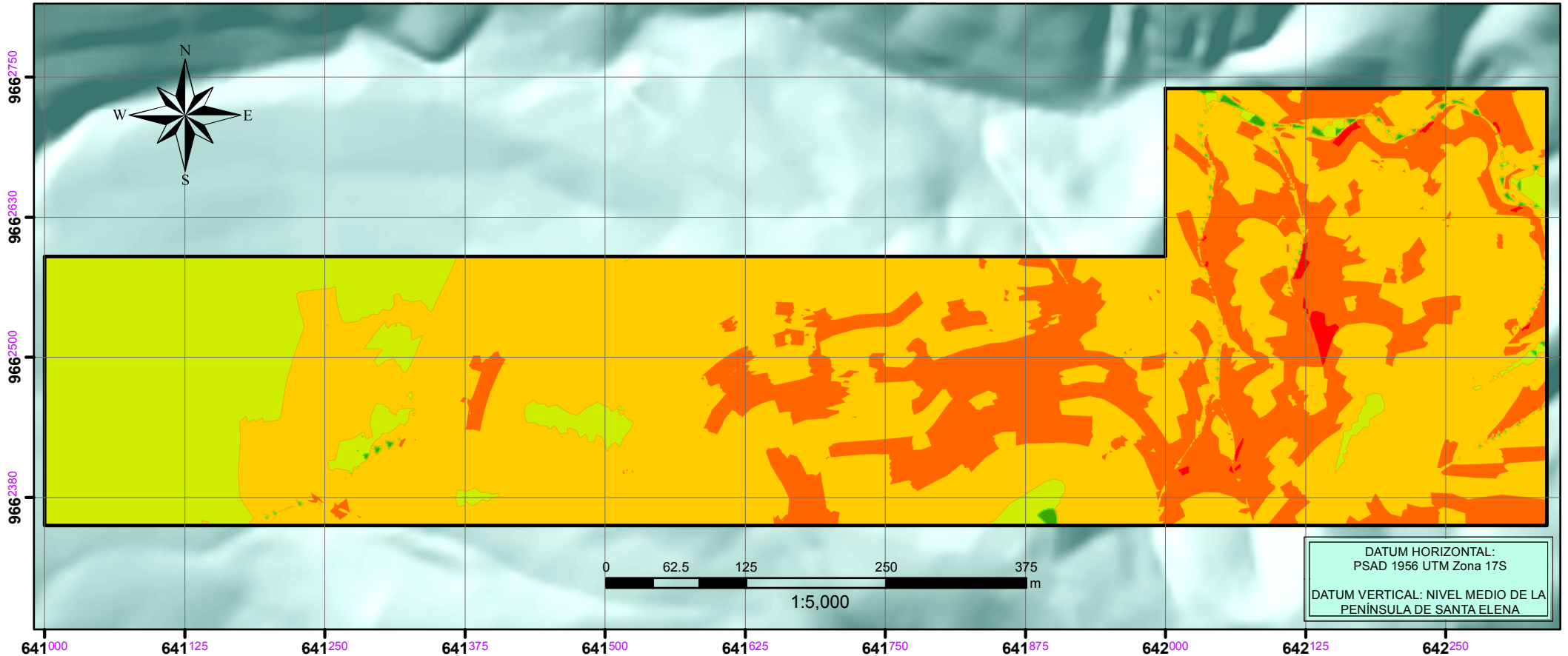


LEYENDA		
Curvas primarias	Baños	Desechos peligrosos
Curvas secundarias	Bodega	Escombrera
Cimas	Canchamina	Fulminantes
Río Villa	Casa de máquinas	Polvorin
Quebradas	Clasificación	Preparación
Área minera	Cocina/comedor	Taller mecánico
Bocamina	Dormitorios	Área de reciclaje
Tanque de agua	Oficinas	Canchas
Muro	Patio	Garita
Vías	Biodigestor	Pararrayos
Rieles		

El mapa ha sido elaborado a partir de una base de datos proporcionados por el personal técnico de Minervilla Cia. Ltda.		
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL	
TEMA DE TESIS:	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.	ANEXO 2
AUTOR:	Walter Stalin Sarango Sarango	
DIRECTOR:	Ing. Jimmy Stalin Paladines Mg. Sc.	
CONTENIDO:	Topografía superficial del área minera Minervilla	
ESCALA:	1:1750	

Anexo 3.: Mapa de Pendientes dentro del área minera
de la Compañía Minervilla

PENDIENTES DENTRO DEL ÁREA MINERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA.



LEYENDA PENDIENTES				
Clase	Rango (°)	Descripción	Área (Ha)	Porcentaje (%)
	0 – 2	Plano (planicie)	0.077	0.206
	2 – 5	Ligeramente inclinado	0.05	0.133
	5 – 15	Fuertemente inclinado	6.505	17.46
	15 – 35	Muy inclinado	22.491	60.363
	35 – 55	Empinado	8.033	21.558
	55 – 67.78	Vertical	0.104	0.279
Área minera Minervilla				

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL			
	TEMA DE TESIS:	Levantamiento Geológico estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.		
	AUTOR:	Walter Stalin Sarango Sarango		
	DIRECTOR:	Ing. Jimmy Stalin Paladines Mg. Sc.		
	CONTENIDO:	Pendientes dentro del área minera Minervilla		
ESCALA:	1:5000		ANEXO 3	

Anexo 4.: Topografía Subterránea del área minera
Minervilla

Anexo 5.: Muestreo subterráneo de rocas y vetas en
Minervilla Cía. Ltda.

Anexo 6.: Mapa Geológico Estructural Superficial del
área minera Minervilla

Anexo 7.: Mapa Geológico Estructural Subterráneo del
área minera Minervilla

Anexo 8.: Clasificación geomecánica RMR de la galería principal de transporte del área minera Minervilla

Anexo 9.: Fichas de descripción de afloramientos

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


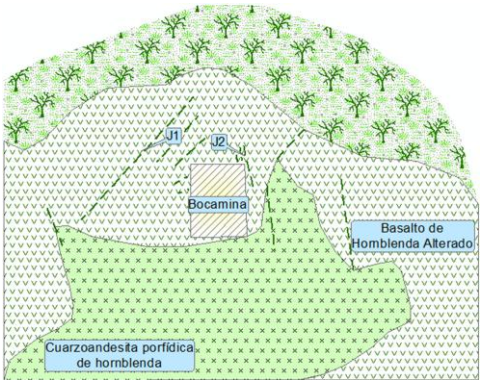
Código de Afloramiento	AMV 01	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS				
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada		Clásticas
	641354	9662476	192		Volcánica	x	No foliada		No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico: Bocamina abandonada				Hipabisal				
Vegetación	Arbórea – arbustiva. Cacaotera								

Tipo de Estructura	Contacto litológico/Diaclasamiento	Datos estructurales	No definido/ $J_1=24/40$. $J_2=83/221$.
---------------------------	------------------------------------	----------------------------	---

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	-------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	---------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Contacto entre basalto de hornblenda alterado y cuarzoandesita porfídica de hornblenda. El basalto se presenta con una coloración gris verdosa, textura afanítica y estructura masiva mientras que la cuarzoandesita porfídica de hornblenda se presenta de color verde con manchas negras, textura porfídica y estructura masiva. Al encontrarse en superficie se encuentran ciertos carbonatos asociados a la superficie de las rocas.

OBSERVACIONES

Existen dos familias de diaclasas las cuales tienen los siguientes datos estructurales: $J_1=24/40$. $J_2=83/221$ según la notación buzamiento/dirección de buzamiento.

Altura del afloramiento \approx 5.50 m. Ancho del afloramiento \approx 10 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 02	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbustiva				Hipabisal			
	641199	9662357	159					

Tipo de Estructura	Diaclasamiento	Datos estructurales	$J_1 = 56/230$. $J_2 = 61/180$
---------------------------	----------------	----------------------------	---------------------------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo (x)	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado (x)	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basalto de hornblenda alterado con textura afanítica y estructura masiva, mismo que se aprecia en la base del afloramiento, encontrándose con un diaclasado centimétrico. En la parte superior se encuentra muy meteorizado. Se evidencian vetillas descompuestas a caolín.

OBSERVACIONES

Las diaclasas se encuentran rellenas de suelo y sus datos estructurales han sido tomados según la notación buzamiento/dirección de buzamiento.

Por la base del afloramiento cursa una quebrada de bajo caudal.

Altura del afloramiento ≈ 3.00 m. Ancho del afloramiento ≈ 5.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


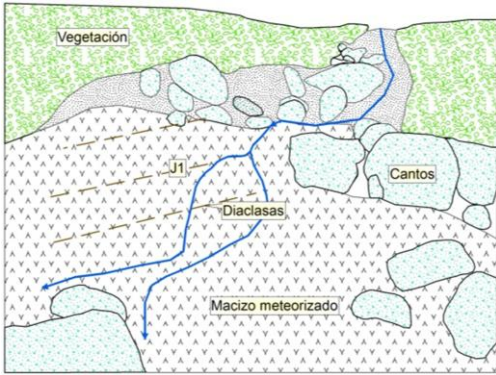
Código de Afloramiento	AMV 03	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641255	9662376	169		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva (Plantaciones de cacao)							

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 66/45$
---------------------------	----------	----------------------------	---------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja (x)	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo ()	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado (x)	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	-------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	---------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Comprende basalto de hornblenda alterado con textura afanítica y estructura masiva, presentando un alto grado de meteorización. Se encuentran además en la parte superior del afloramiento; restos de una roca porfídica completamente meteorizada la cual podría tratarse de cuarzoandesita porfídica de hornblenda en la cual se observan posiblemente feldespatos descompuestos.

OBSERVACIONES

La quebrada que cursa por este afloramiento es una de las causantes del grado de meteorización de las rocas las cuales se presentan a manera de saprolito con una coloración amarillenta y una dureza muy baja. El dato de la diaclasa ha sido tomado en la notación Buzamiento/Dirección de buzamiento. Cantos centimétricos a decimétricos han sido depositados y su composición generalmente es basáltica. Alto ≈ 3.5 m. Ancho = 3.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 04	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica		No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbórea/Bosque				Hipabisal	x		
	641402	9662319	225					

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 27/205$
---------------------------	----------	----------------------------	----------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña (x)	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo ()	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual (x)
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Roca muy alteada, misma que no se ha podido determinar exactamente su nombre, sin embargo se asume que se trata de un pórfido feldespático ya que en las cercanías del afloramiento se encontró una roca sana in situ con textura porfídica y con gran contenido de feldespatos, plagioclasas y en menor cantidad hornblenda.

OBSERVACIONES

A pocos metros, en el piso de la quebrada existe una vetilla alterada a caolín de 3 cm de potencia. El grado de meteorización se asume por la constante presencia de agua y la composición de la roca. Altura del afloramiento = 1.20 m. Ancho del afloramiento = 2.50 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


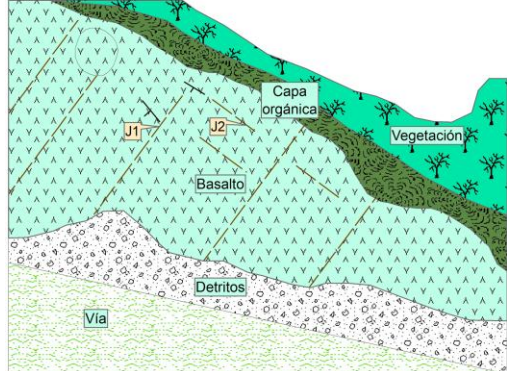
Código de Afloramiento	AMV 05	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641550	9662412	279		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico: Corte de vía				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva							

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 53/350$. $J_2 = 35/190$				
---------------------------	----------	----------------------------	---------------------------------	--	--	--	--

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado (x)	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) (x)	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

El afloramiento se constituye en su totalidad de basalto de hornblenda alterado con textura afanítica y estructura masiva de coloración gris claro a verde azulada con presencia de minerales de epidota, feldespatos y calcita a manera de pequeños hilos. La parte superior del afloramiento presenta una pequeña capa vegetal de aproximadamente 15 cm.

OBSERVACIONES

Los datos estructurales de las dos familias de discontinuidades se han tomado en la notación Buzamiento/Dirección de buzamiento y el principal set lo constituye J_1 .

Los venillas que se presentan en el macizo reaccionan con HCl al 7.3%.

Altura del afloramiento = 2.50 m. a la izquierda de la fotografía. Ancho del afloramiento \approx 3.5 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


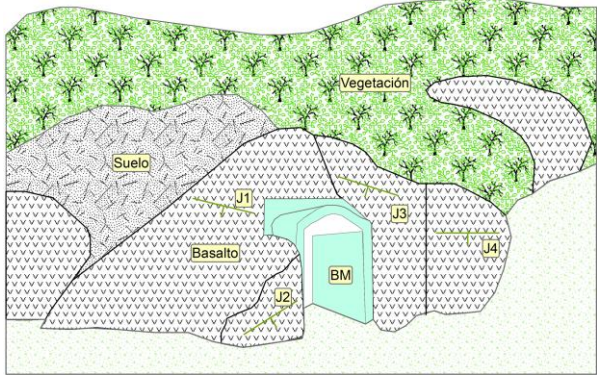
Código de Afloramiento	AMV 06	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641762	9662464	329		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico: Bocamina				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea							

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 29/30$. $J_2 = 80/290$. $J_3 = 88/235$. $J_4 = 80/193$
---------------------------	----------	----------------------------	--

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

El afloramiento se constituye en su totalidad de basalto de hornblenda alterado con textura afanítica y estructura masiva de coloración gris claro a verde azulada. No se evidencian vetillas de epitoda, calcita y/o feldespatos.

OBSERVACIONES

El afloramiento corresponde a la bocamina de la mina Virgen del Cisne la cual tiene un rumbo inicial de S20°E. Tanto a la izquierda como a la derecha de la bocamina, aflora roca con una elevada resistencia y con un sistema de discontinuidades principal, orientado al NW.

Altura del afloramiento ≈ 4.50 Ancho del afloramiento ≈ 7.00 m

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 07	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641801	9662440	365		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico: Bocamina abandonada				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea/Bosque							

Tipo de Estructura	Veta en Falla	Datos estructurales	Az= 285° - Bz= 74°NW				
---------------------------	---------------	----------------------------	----------------------	--	--	--	--

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 (x)	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado (x)	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	-------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo (x)	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	---------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basalto de hornblenda de textura afanítica y estructura masiva, de coloración gris oscura a gris verdosa con contenido de piritita. Alterada superficialmente por óxidos provenientes de la veta – falla de tipo normal.

OBSERVACIONES

La bocamina tiene pocos metros y sigue el rumbo de la veta – falla la cual tiene una potencia promedio de 20 centímetros con relleno de material alterado a arcillas en conjunto con sulfuros (principalmente piritita).
Altura del afloramiento = 2.50 m. Ancho del afloramiento = 3.50 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 08	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641668	9662365	319		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico/Natural				Hipabisal	x		
Vegetación	Arbórea/Arbustiva							

Tipo de Estructura	Diaclasamiento	Datos estructurales	$J_1 = 35/295$				
---------------------------	----------------	----------------------------	----------------	--	--	--	--

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	-------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	---------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

En la parte inferior izquierda del afloramiento se constituye de basalto de hornblenda alterado, con una coloración grisácea, textura afanítica y estructura masiva con ligera piritización. Además se encuentra en contacto con una roca con textura porfídica y estructura masiva de coloración gris verdoso donde se aprecian minerales como feldespatos, cuarzo, hornblenda misma que corresponde a un pórfido feldespático.

OBSERVACIONES

En la parte inferior se encuentra una bocamina antigua misma que lleva un rumbo inicial N67°E, la parte superior es un afloramiento natural. El pórfido reacciona levemente con HCl al 7.3%.
Altura del afloramiento ≈ 30 m. Ancho del afloramiento ≈ 15 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


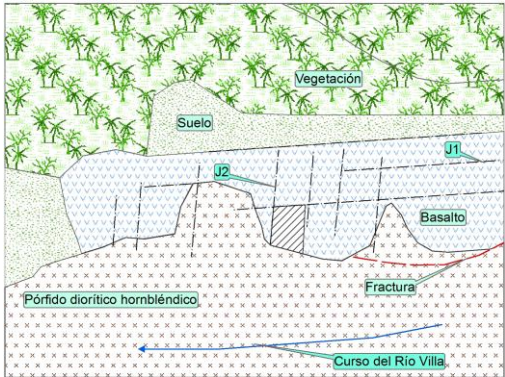
Código de Afloramiento	AMV 09	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbustiva				Hipabisal	x		
	641030	9662704	124					

Tipo de Estructura	Diaclasa – Contacto litológico	Datos estructurales	$J_1=8/200$. $J_2=86/205$ – $Az=220/B=60NE$
---------------------------	--------------------------------	----------------------------	--

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado (x)	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

En el afloramiento se evidencia un contacto entre basaltos de hornblenda de textura afanítica y estructura masiva de coloración gris verdosa a gris oscura con un pórfido hornbléndico de composición diorítica y coloración grisácea, en donde se evidencian claramente los cristales de hornblenda, cuarzo y feldespatos. Existen pequeñas vetillas de cuarzo.

OBSERVACIONES

En el macizo de basalto se evidencian dos sets de discontinuidades y una pequeña fractura con relleno de arcilla, con $Az=210$ y $Bz=47NE$ la cual está piritizada. Se evidenciaron xenolitos monolíticos y una pequeña labor abandonada. Altura del afloramiento ≈ 3.5 m. Ancho del afloramiento ≈ 10 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


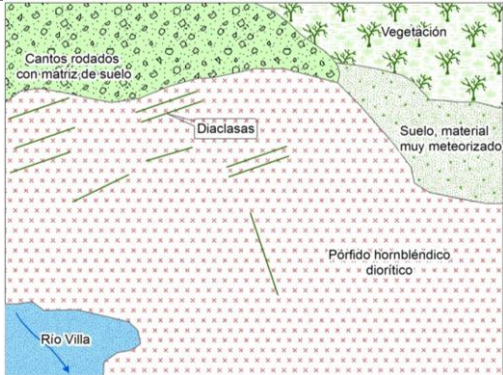
Código de Afloramiento	AMV 10	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641216	966275	140		Volcánica		No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal	x		
Vegetación	Arbustiva/Cacaotera							

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 28/205$
---------------------------	----------	----------------------------	----------------

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	---------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) (x)	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-------------------------------------	---------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Pórfido hornbléndico de composición diorítica, textura porfídica y estructura masiva en donde pueden observarse claramente hornblendas, cuarzo, plagioclasas, además pirita diseminada.

Posee xenolitos en el lecho del río, sector en donde se encuentra en contacto con basalto de hornblenda, de color gris oscuro, textura afanítica y estructura masiva.

OBSERVACIONES

El afloramiento se encuentra en su mayoría con coloración amarillenta a beige, presentando un elevado coeficiente de fortaleza (excepto la parte inferior derecha de la fotografía), la parte superior cuenta con cantos rodados en una matriz de suelo y todo ello, cubierto por una capa vegetal. Existe una familia principal de discontinuidades que buzcan hacia el NW. La roca presenta ligero magnetismo. Altura ≈ 6 m. Ancho ≈ 15 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


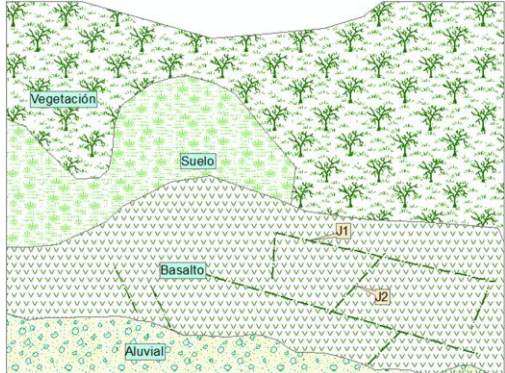
Código de Afloramiento	AMV 11	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	641272	9662774	145		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva							

Tipo de Estructura	Diaclasamiento	Datos estructurales	$J_1=15/318$ $J_2=41/120$
---------------------------	----------------	----------------------------	---------------------------

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	---------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

La roca del afloramiento se constituye en su totalidad de basalto de coloración gris oscura a negra, textura afanítica y estructura masiva ligeramente alterada, Por su granulometría no se han podido observar minerales, sin embargo se ha encontrado un escaso contenido de pirita. No se han encontrado estructuras.

OBSERVACIONES

Presenta dos familias de discontinuidades y los datos que se presentan han sido tomados en la notación buzamiento/dirección de buzamiento.
Altura del afloramiento \approx 6.00 m. Ancho del afloramiento \approx 12.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


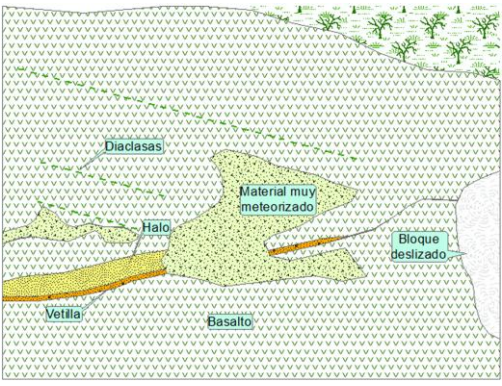
Código de Afloramiento	AMV 12	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS				
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada		Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada		No clásticas
Vegetación	Arbustiva				Hipabisal				

Tipo de Estructura	Veta	Datos estructurales	Az = 112. Bz = 11
---------------------------	------	----------------------------	-------------------

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 (x)	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado (x)	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	---------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	--------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

La roca encajonante se constituye en un basalto de color grisáceo de textura afanítica y estructura masiva el cual contiene pirita diseminada y una veta de aproximadamente 10 cm de potencia, mineralizada con estibina y cuarzo, presenta un elevado coeficiente de fortaleza y un halo de alteración.

OBSERVACIONES

La veta no presenta un buzamiento constante, sin embargo predomina un buzamiento subhorizontal. Se encuentra aflorando en el Río Villa y se ha evidenciado que el material ha sido extraído manualmente. Altura del afloramiento ≈ 2.8 m. Ancho del afloramiento ≈ 6.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 13	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbustiva/Arbórea				Hipabisal			
	641993	9662752	230					

Tipo de Estructura	Vetillas/Falla	Datos estructurales	V ₁ : 300/84NE. V ₂ : 105/74SW. F: 2/44E.
---------------------------	----------------	----------------------------	---

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado (x)	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	----------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	-------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basalto de coloración grisácea, de textura afanítica y estructura masiva ligeramente alterada. Existen dos vetillas de cuarzo con sulfuros (pirita principalmente). La vetilla 1 es de 4 cm de potencia y la vetilla 2 de 2 cm. La falla tiene relleno arcilloso con sulfuros. Tanto las vetillas como la falla tienen un ligero contenido de oro.

OBSERVACIONES

La parte izquierda de la fotografía muestra un menor grado de fracturamiento con relación al lado derecho, en el cual se presenta una pequeña falla que contiene relleno de material arcilloso y genera un diaclasamiento centimétrico). Así mismo la roca en esta parte se encuentra más meteorizada. Los datos estructurales están tomados según la notación Azimut/Buzamiento. Altura del afloramiento ≈ 4.00 m. Ancho ≈ 12.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

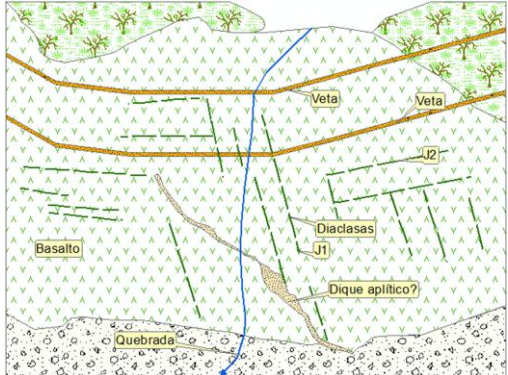
Código de Afloramiento	AMV 14	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642143	9662863	276		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea							

Tipo de Estructura	Veta	Datos estructurales	V ₁ : 310/77NE. V ₂ : 305/82NE.
---------------------------	------	----------------------------	---

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	------------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Macizo rocoso de basalto de coloración gris oscura, mineralizado con piritita. Su textura es afanítica y su estructura masiva, presentan un elevado coeficiente de fortaleza y contiene dos vetillas de cuarzo con sulfuros de aproximadamente 7 centímetros de potencia, paralelas entre sí, además de una pequeña intrusión que se asume se trata de un pequeño dique aplítico.

OBSERVACIONES

El macizo se encuentra diaclasado por dos familias de diaclasas: J₁: 73/147 J₂: 40/31. (Bz/DBz).

Los datos estructurales de las vetas han sido tomados según la notación Azimut/Buzamiento.

Superficialmente el macizo se encuentra oxidado.

Altura del afloramiento ≈ 5.00 m. Ancho del afloramiento ≈ 4.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


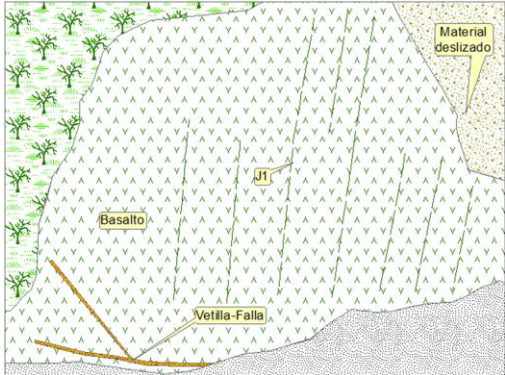
Código de Afloramiento	AMV 15	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642163	9662875	286		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea							

Tipo de Estructura	Vetilla - Falla	Datos estructurales	Az= 65° B= 56°SE
---------------------------	-----------------	----------------------------	------------------

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	------------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	--------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basalto de color gris oscuro (húmedo se torna negro), de textura afanítica y estructura masiva con presencia de piritas, con un elevado coeficiente de fortaleza.

La vetilla se constituye de un material arcilloso de coloración azulada con contenido de sulfuros en donde se distingue la piritas.

OBSERVACIONES

Existe la presencia de una familia de discontinuidades, subvertical: J₁= 84/40 (Bz/DBz).

Altura del afloramiento ≈ 7.00 m. Ancho del afloramiento ≈ 4.00 m.

El macizo se presenta de color beige debido a procesos de meteorización. (Pátinas de óxidos)

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


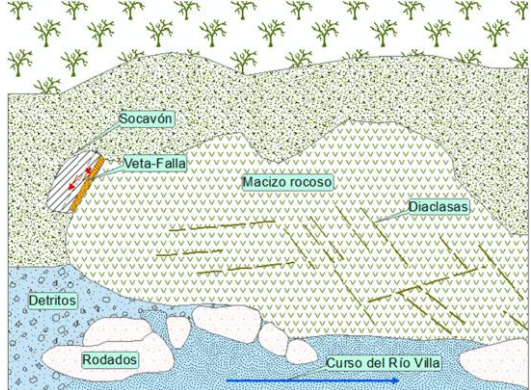
Código de Afloramiento	AMV 16	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbustiva				Hipabisal			
	642164	9662708	250					

Tipo de Estructura	Veta - Falla	Datos estructurales	Az = 06 Bz = 85 E				
---------------------------	--------------	----------------------------	-------------------	--	--	--	--

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 (x)	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	---------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basaltos de textura afanítica y estructura masiva de coloración gris oscura a negra, presentan diseminación de pirita, además existe una veta en falla en una bocamina abandonada ubicada a la izquierda de la fotografía, la cual se constituye de sulfuros ligados a material arcilloso.

OBSERVACIONES

El macizo rocoso se encuentra muy fracturado, con diaclasamiento centimétrico a decimétrico.
Abundante vegetación en la parte superior del afloramiento.
Altura del afloramiento ≈ 2.50 m. Ancho del afloramiento ≈ 10.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


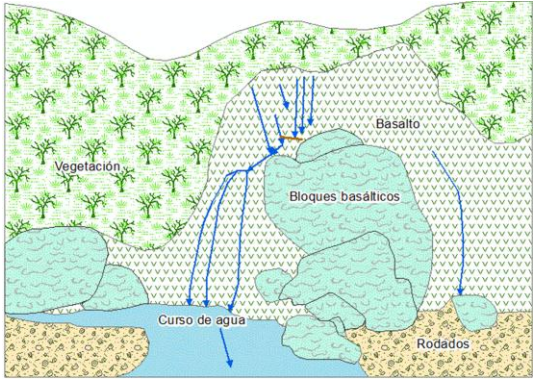
Código de Afloramiento	AMV 17	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Cascada del Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642237	9662716	258		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea							

Tipo de Estructura	Vetilla	Datos estructurales	Az = 125. Bz = 80 SW				
---------------------------	---------	----------------------------	----------------------	--	--	--	--

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 raya con martillo (x)
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basaltos de textura afanítica y estructura masiva de coloración gris oscura a negra, pese a la presencia constante de agua el macizo no se encuentra meteorizado, presenta pequeñas vetillas principalmente de cuarzo y sulfuros. La granulometría de las rocas no ha permitido ver cristales, sin embargo existe una ligera piritización.

OBSERVACIONES

La vetilla mencionada se presenta a mitad de la cascada y no presenta una potencia mayor a 3.00 cm.
La parte izquierda del afloramiento presenta un ligero diaclasamiento ortogonal.
Altura del afloramiento ≈ 15.00 m. Ancho del afloramiento ≈ 8.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


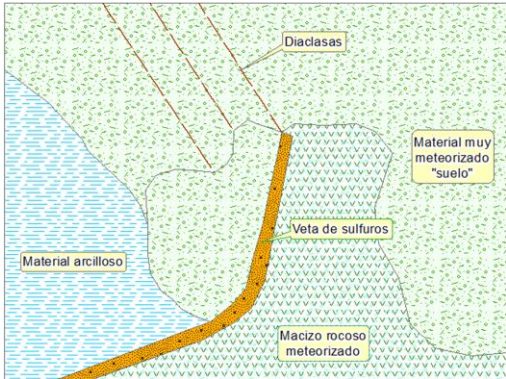
Código de Afloramiento	AMV 18	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLÓGIA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642348	9662576	315		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Antrópico				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva							

Tipo de Estructura	Veta	Datos estructurales	Az=350 Bz=78 NNE				
---------------------------	------	----------------------------	------------------	--	--	--	--

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo (x)	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado (x)	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo (x)	Flujo ()
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-----------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

El macizo se conforma de basalto mineralizado con pirita diseminada, esto se puede apreciar en la parte baja del afloramiento ya que el resto se encuentra muy meteorizado, convertida prácticamente en un suelo residual con presencia de arcilla. La veta tiene una potencia de 10 cm. y se constituye de pirita con otros sulfuros y posibles sulfosales de plata. El material de veta presenta una coloración oscura, con ausencia visible de cuarzo y una elevada densidad.

OBSERVACIONES

Mineros informales han realizado perforación en esta veta a nivel superficial.
 Altura del afloramiento ≈ 2.70 m. Ancho del afloramiento ≈ 3.50 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


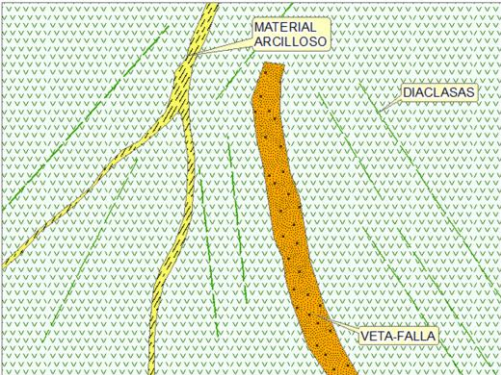
Código de Afloramiento	AMV 19	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Vegetación	Arbórea				Hipabisal			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	642050	9662660	250					

Tipo de Estructura	Veta – Falla	Datos estructurales	Az=285 Bz=79 NNE
---------------------------	--------------	----------------------------	------------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo (x)	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado (x)	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	-------------------------------	-----------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Basaltos de textura afanítica y estructura masiva de coloración gris oscura a negra, pese a la presencia constante de agua el macizo no se encuentra meteorizado, no así la veta, cuyo material ha sido oxidado por el flujo de la quebrada. La estructura se encuentra fallada y presenta una potencia de 10 cm., constituida por cuarzo con sulfuros y material arcilloso.

OBSERVACIONES

La veta – falla se dispone perpendicularmente al cauce de la quebrada y su relleno no es muy cohesivo, producto de la meteorización.

Altura del afloramiento ≈ 0.80 m. Ancho del afloramiento ≈ 1.50 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

Código de Afloramiento	AMV 20	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642033	9662593	267		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva/Arbórea							

Tipo de Estructura	Diaclasa	Datos estructurales	$J_1 = 85/103, J_2 = 41/60$
---------------------------	----------	----------------------------	-----------------------------

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 raya con martillo (x)
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado (x)	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	---------------------------	----------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	---------------	--------------	----------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Macizo rocoso conformado por basalto de color gris oscuro a negro, con textura afanítica y estructura masiva, con elevado coeficiente de fortaleza y sin presentar meteorización considerable. No contiene ninguna estructura.

OBSERVACIONES

El punto del afloramiento corresponde a la unión de dos quebradas, presenta grandes cantos subangulosos. Se presentan dos familias de discontinuidades cuyos datos han sido tomados según la notación buzamiento/dirección de buzamiento.

Altura del afloramiento ≈ 3.00 m. Ancho del afloramiento ≈ 4.00 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


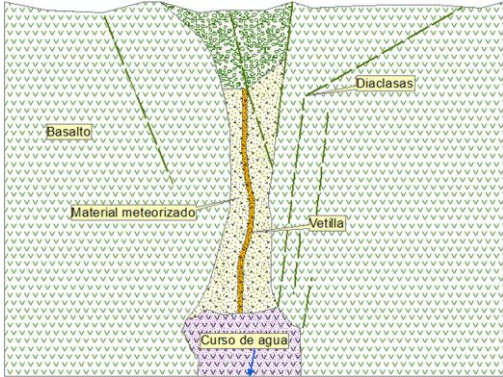
Código de Afloramiento	AMV 21	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642064	9662406	363		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbórea							

Tipo de Estructura	Vetilla/Falla?	Datos estructurales	Az = 145 Bz = 82
---------------------------	----------------	----------------------------	------------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo (x)	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------	------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado (x)	Muy meteorizado ()	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	----------	----------------------	---------------------------------	---------------------	-------------------------------	--------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo ()	Goteo ()	Flujo (x)
----------------------	---------------------------	--------------------------------	------------	-----------	-------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Macizo rocoso de basalto diaclasado, de textura afanítica y estructura masiva, de color gris oscuro a negro que contiene una vetilla de cuarzo con sulfuros (principalmente pirita) de 4 cm de potencia, se presenta en el centro de una posible falla cuyo rumbo seguiría el curso de la quebrada, esta vetilla se puede ver en un salto de agua de aproximadamente 2.5 m. de altura.

OBSERVACIONES

Material muy meteorizado a ambos lados de la vetilla.
 Altura del afloramiento ≈ 2.50 m. Ancho del afloramiento ≈ 1.20 m.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA****INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL****FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS****PROYECTO**

Levantamiento Geológico Estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.


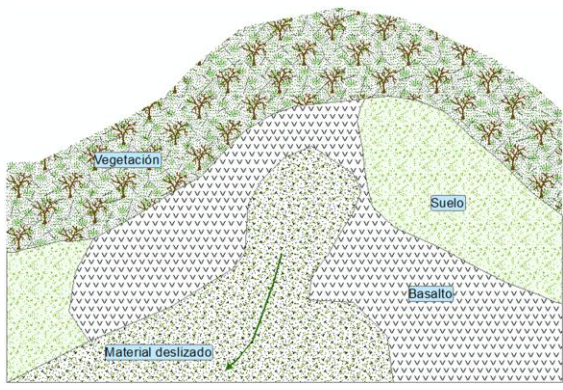
Código de Afloramiento	AMV 22	Responsable	Walter S. Sarango	LITOLOGÍA	GÉNESIS			
Sector Referencial	Río Villa				ÍGNEO	x	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X	Y	Z		Plutónica		Foliada	Clásticas
	642343	9662314	427		Volcánica	x	No foliada	No clásticas
Tipo afloramiento	Natural				Hipabisal			
Vegetación	Arbustiva – Arbórea							

Tipo de Estructura	No definida por el grado de desintegración	Datos estructurales	No definidos
---------------------------	--	----------------------------	--------------

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ()	Muy blanda. Navaja ()	Blanda. Punta de martillo ()	Media. 1 Golpe de martillo (x)	Dura. + 1 Golpe de martillo ()	Muy dura. Varios golpes ()	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ()
--	--------------------------------------	------------------------------	-------------------------------------	--	---------------------------------------	-----------------------------------	---

Grado de meteorización	Sana ()	Algo meteorizado ()	Moderadamente meteorizado ()	Muy meteorizado (x)	Completamente meteorizado ()	Suelo Residual ()
-------------------------------	-------------	-------------------------	----------------------------------	--------------------------	----------------------------------	-----------------------

Hidrogeología	Sin presencia de agua ()	Seco (con señales de agua) ()	Húmedo (x)	Goteo ()	Flujo ()
----------------------	------------------------------	-----------------------------------	-----------------	--------------	--------------

FOTO	ESQUEMA
	

DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

En la parte izquierda de la fotografía, junto a la piqueta, se pueden apreciar más claramente los basaltos, mismos que presentan una textura afanítica y estructura masiva, con ligera diseminación de pirita, mientras que en la parte derecha se puede ver que el material se encuentra muy meteorizado, convertido a suelo.

OBSERVACIONES

El afloramiento se ha producido debido a un deslizamiento.
Altura del afloramiento ≈ 3.50 m. Ancho del afloramiento ≈ 6.00 m.

Anexo 10.: Análisis de Láminas Delgadas

Anexo 11.: Resultados de Ensayos de Compresión
Uniaxial

ANEXO 11. RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

PROYECTO: Levantamiento geológico estructural de la galería principal de transporte de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda., ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay.

RESPONSABLE: Walter Stalin Sarango Sarango.

LUGAR DE DESARROLLO DE LOS ENSAYOS: Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Nacional de Loja, perteneciente al Proyecto 818, cofinanciado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación SENESCYT.

TIPO DE MUESTRA: Probetas cúbicas de roca.

PRENSA EMPLEADA: CONTROLS C34C04, Serial 12018211 – Capacidad 3000 KN.

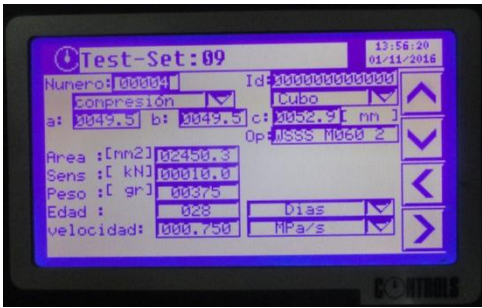
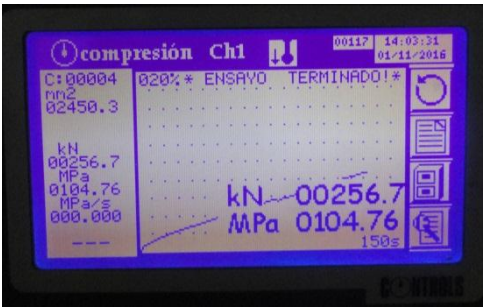


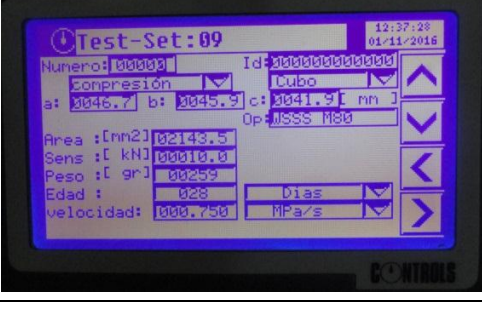

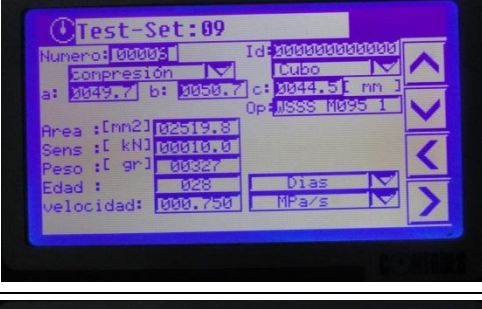
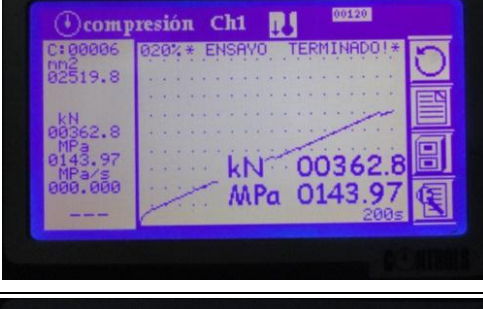
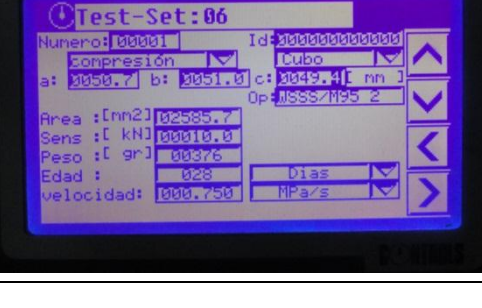
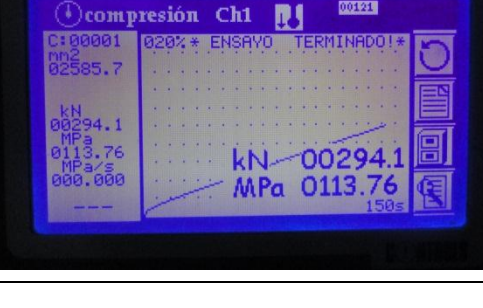
VELOCIDAD DE ENSAYO: 0.75 MPa/s






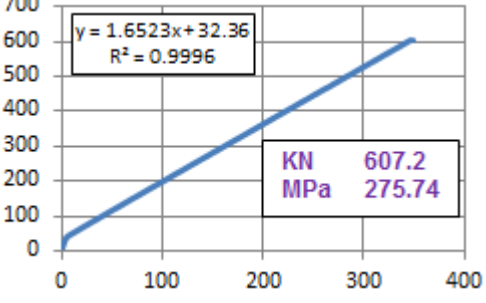




RESULTADOS								
ROCA	MUESTRA N°	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ALTURA (mm)	Área (mm ²)	Peso (g)	Fuerza (KN)	Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)
Basalto	1	49.5	49.5	52.9	2450.25	375	256.7	104.78
	2	42.7	47.5	46.9	2028.25	276	259.9	128.14
	3	46.7	45.9	41.9	2143.53	259	284.2	132.59
	4	49.7	50.7	44.5	2519.79	327	362.8	143.97
	5	50.7	51.0	49.4	2585.70	376	294.1	113.76
	6	51	51.4	51.2	2621.40	387	407.8	155.56
	7	51.7	52.2	49.5	2698.74	385	298.8	110.70
PROMEDIO								127.07
Cuarzo andesita porfídica de Hbl.*	1	45.5	48.4	53.2	2202.20	322	607.2	275.74
	2	53.4	54.7	53.1	2920.98	410	361.1	123.62
PROMEDIO								199.68
Cuarzo diorita de Hbl.*	1	47.4	49.7	47.9	2355.78	305	378.6	160.72
	2	49.2	48.5	48.4	2386.20	312	385.2	161.42
PROMEDIO								161.07
Dacita porfídica de Hbl.*	1	53.4	51.9	52.4	2771.46	387.2	239.6	86.46
	2	50.4	51	53	2570.40	366.1	181.0	70.42
PROMEDIO								78.44



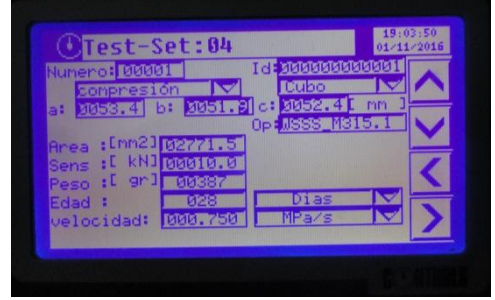
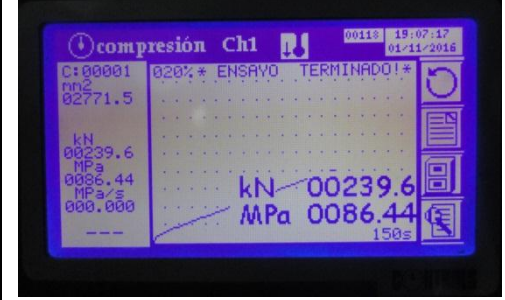
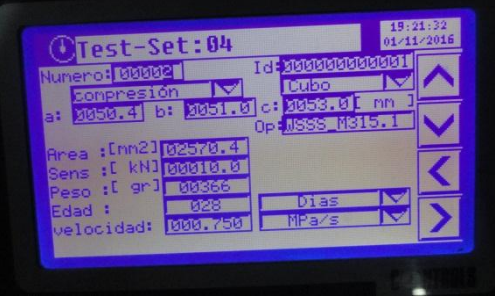

* Hbl.: Abreviación empleada para hornblenda.

Nota: El valor de Resistencia a la Compresión Uniaxial se determinó mediante la relación F/A (Fuerza/ Área) y se corroboró con las pantallas de resultados que se presentan al finalizar cada ensayo, cabe recalcar que en las muestras de basalto (1,2,3,6) y Dacita porfídica de Hbl.1 existe una variación entre 1 y 2 centésimas con los resultados de las pantallas, mientras que en la muestra de Dacita porfídica de Hbl.2 existe una variación de aproximadamente 4 centésimas; ante esto se ha considerado el valor obtenido manualmente mediante la relación anteriormente expuesta: (F/A). En el resto de casos, los valores coinciden.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA EJECUCIÓN DE ENSAYOS

MUESTRA	FOTOGRAFÍAS	
	Pantalla de ingreso de datos	Pantalla de resultados
Basalto 1		
Basalto 2		
Basalto 3		
Basalto 4		
Basalto 5		

Basalto 6		
Basalto 7		
Cuarzo andesita porfídica de Hbl. 1		 <p style="text-align: center;">No disponible**</p>
Cuarzo andesita porfídica de Hbl. 2		
Cuarzo diorita de Hbl.1		

<p>Cuarzo diorita de Hbl.2</p>		
<p>Dacita porfídica de Hbl.1</p>		
<p>Dacita porfídica de Hbl.2</p>		

Nota:

** La imagen no pudo ser recuperada debido a la no visibilidad de los datos en la pantalla, sin embargo se pudieron exportar los datos a un dispositivo de almacenamiento externo, de donde se obtuvieron los datos finales y se pudo elaborar la gráfica.

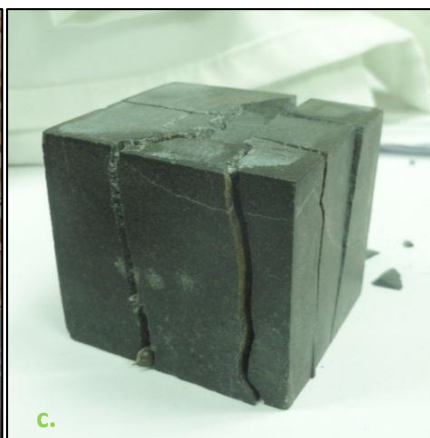
FOTOGRAFÍAS DE SECUENCIA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS



a. Toma de datos de las probetas cúbicas de roca e ingreso de los mismos en la máquina.



b. Ejecución de ensayo de resistencia a la compresión simple de los especímenes de roca.

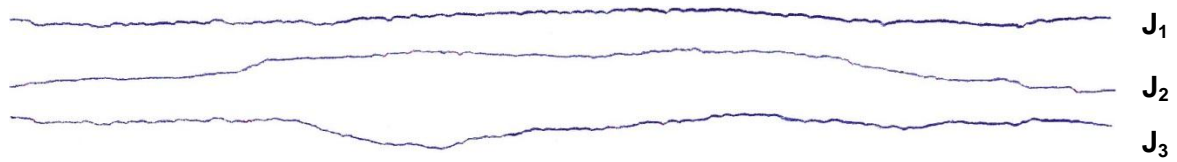


c. Resultado de la ejecución del ensayo de compresión simple. Se muestra el fallamiento de un ejemplar de basalto (Basalto 7).

Anexo 12.: Perfiles de rugosidad de las familias de discontinuidades en cada tramo

ANEXO 12. PERFILES DE RUGOSIDAD DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES DE CADA TRAMO

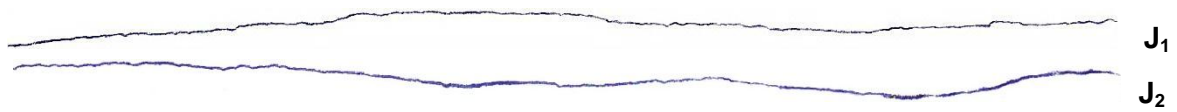
Tramo 1.



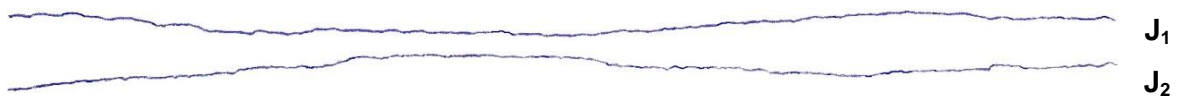
Tramo 2.



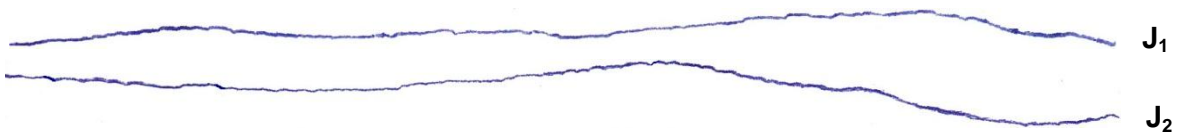
Tramo 3.



Tramo 4.



Tramo 5.



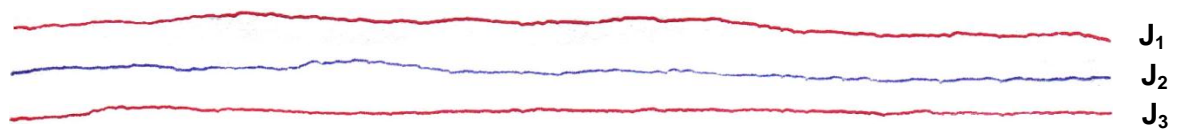
Tramo 6.



Tramo 7.



Tramo 8.



Tramo 9.



Tramo 10.



Tramo 11.



Tramo 12.



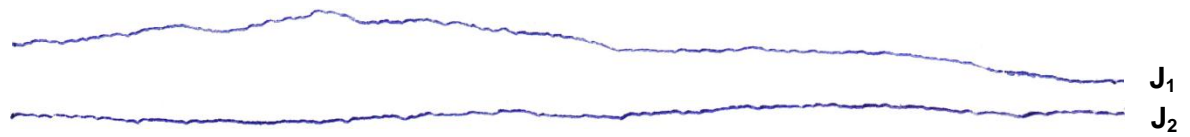
Tramo 13.



Tramo 14.



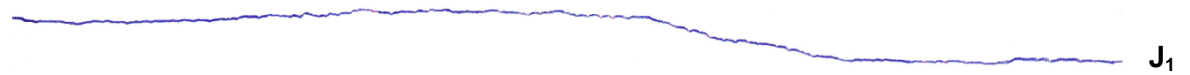
Tramo 15.



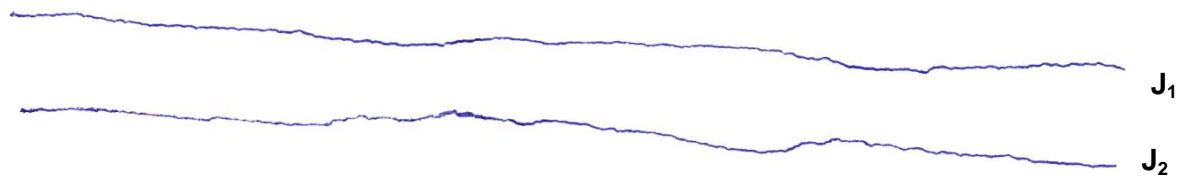
Tramo 16.



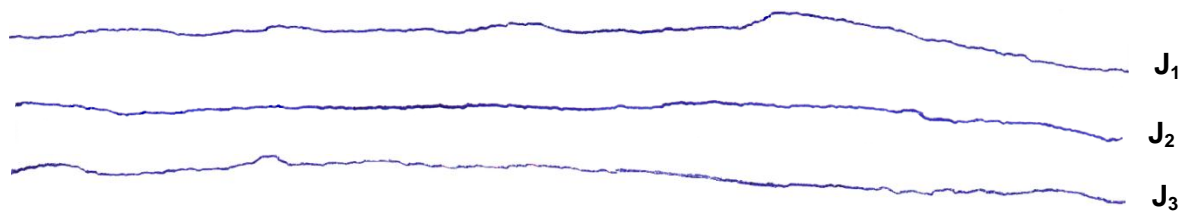
Tramo 17.



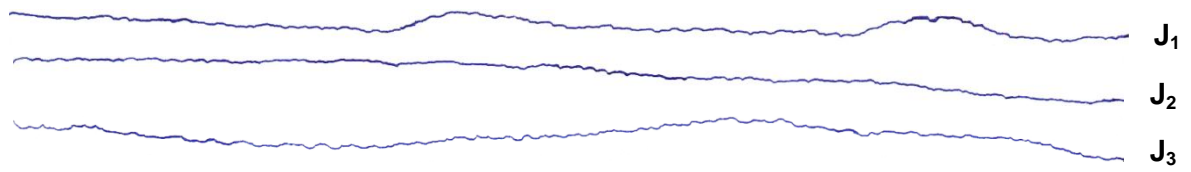
Tramo 18.



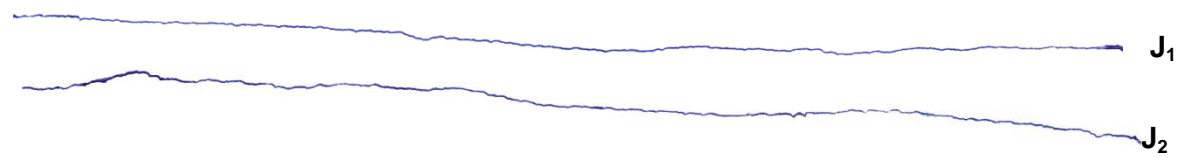
Tramo 19.



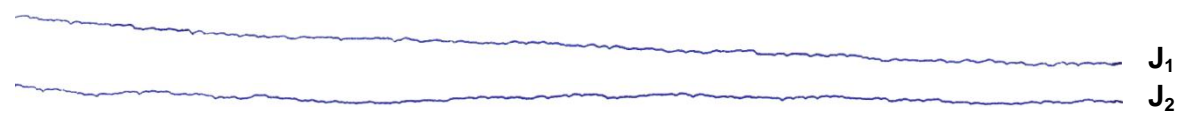
Tramo 20.



Tramo 21.



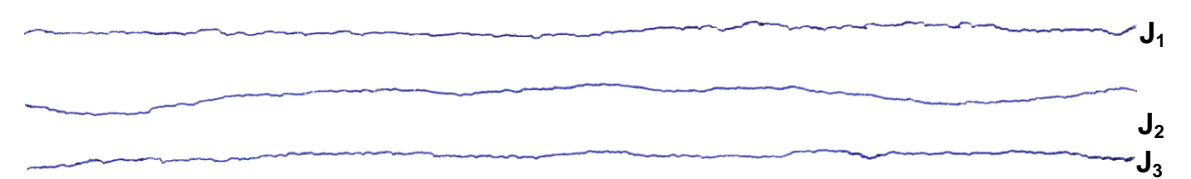
Tramo 22.



Tramo 23.



Tramo 24.



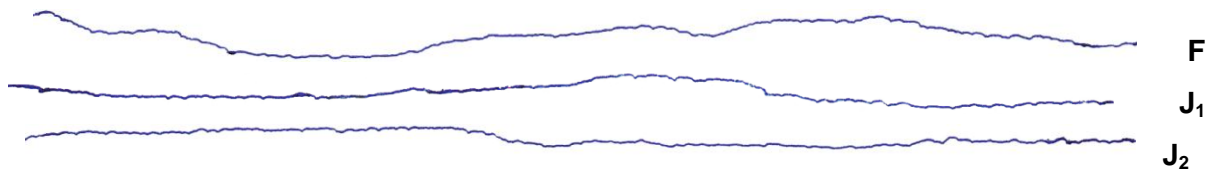
Tramo 25.



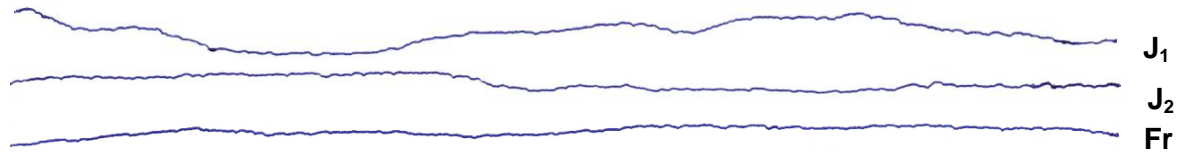
Tramo 26.



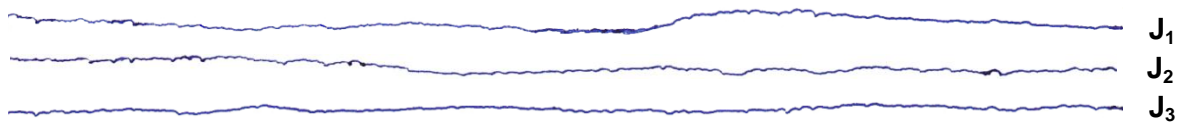
Tramo 27.



Tramo 28.



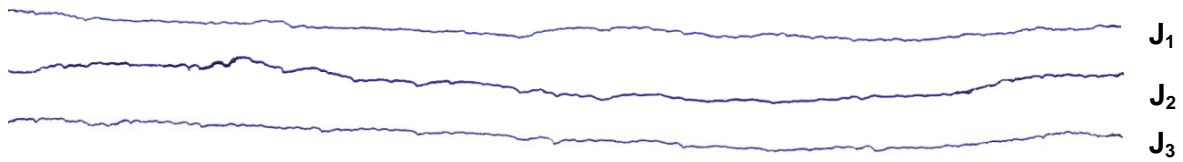
Tramo 29.



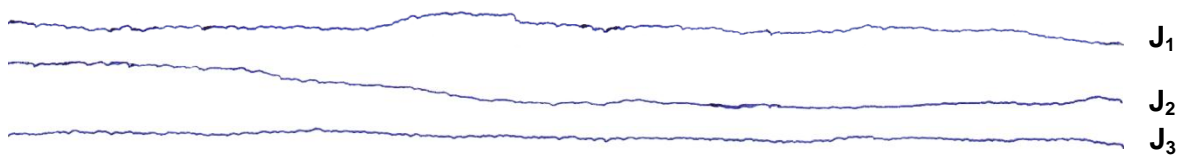
Tramo 30.



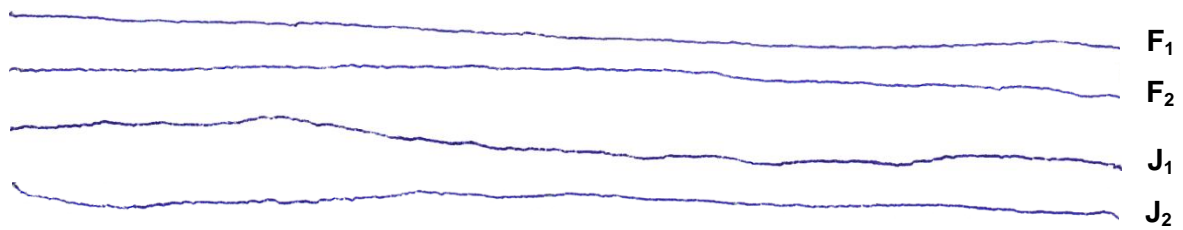
Tramo 31.



Tramo 32.



Tramo 33.



Tramo 34.



Anexo 13.: Parámetros de las familias de discontinuidades en los tramos donde se forman cuñas tetraedrales

ANEXO 13. PARÁMETROS DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES EN LOS TRAMOS DONDE SE FORMAN CUÑAS TETRAEDRALES

Los datos que se presentan en el siguiente cuadro corresponden a los valores que se han empleado en el análisis tridimensional con el software Unwedge 3.0.

TRAMO	CÓDIGO FAMILIAS	DIP/DIP DIRECTION	Rebotes en Rx. Sana (R)					Promedio (R _N)	(R _L) Sana	Rebotes en Rx. Meteorizada (r)					Promedio (R _N)	(R _L) Met.	∅ _b (°)	∅ _r (°)	JRC	JCS (MPa)
			20	26	32	38	42			28	29	35	38	42						
1	J ₁	87/210	20	26	32	38	42	50.8	34.9	28	29	35	38	42	44.4	29.8	33.5	30.6	5.6	81.57
			44	46	50	52	62			43	44	44	45	46						
	J ₂	33/292	52	53	54	55	56	58	40.7	18	26	26	28	28	34.8	22.1	33.5	24.4	10.8	104.03
			56	57	58	58	61			30	30	38	38	38						
	J ₃	76/131	38	40	42	46	47	50.6	34.7	26	28	36	40	40	45.2	30.4	33.5	31.0	13.5	80.79
			47	48	48	50	60			42	42	46	46	50						
8	J ₁	22/352	48	50	50	50	53	57.4	40.2	50	50	53	55	55	57.2	40.0	36.5	36.4	7.1	115.03
			53	55	59	60	60			56	56	56	58	60						
	J ₂	18/60	54	56	58	58	60	60.8	42.9	38	40	48	50	51	53.6	37.1	36.5	33.8	5.6	115.83
			60	60	60	62	62			52	52	52	56	56						
	J ₃	76/25	60	61	62	64	64	66	47.1	58	58	58	60	60	61	43.1	36.5	34.8	4.0	146.23
			65	65	66	66	68			60	60	61	62	62						
16	F	77/133	56	57	58	59	59	60.6	42.7	40	40	40	42	42	45.2	30.4	33.5	27.7	13.7	120.08
			60	60	60	61	62			42	44	44	48	48						
	J ₁	83/223	54	59	60	60	60	60	42.3	46	48	50	52	52	54.8	38.1	33.5	31.5	5.6	117.69
			60	60	60	60	60			54	54	54	54	58						
	J ₂	7/27	56	57	58	58	58	60	42.3	50	50	50	52	54	55.6	38.7	33.5	31.8	7.1	114.03
			59	60	60	60	61			54	54	56	56	58						

19	J ₁	77/116	54	56	59	59	60	61.4	43.4	44	45	46	46	48	48.8	33.3	33.5	28.8	16.0	124.29
			60	61	62	62	62			48	48	48	50	50						
	J ₂	23/277	58	58	59	60	61	62.6	44.3	48	50	50	50	50	54.6	37.9	33.5	30.6	10.0	117.84
			62	62	63	63	63			52	54	54	55	58						
	J ₃	73/65	58	59	61	61	61	62.2	44	58	59	61	61	61	62.2	44.0	33.5	33.5	8.0	127.07
			61	62	62	62	64			61	62	62	62	64						
20	J ₁	75/63	54	56	56	57	58	60	42.3	44	44	44	46	46	48	32.7	41	36.5	8.0	98.54
			58	60	60	61	61			46	46	48	50	50						
	J ₂	27/56	52	54	55	55	55	57.6	40.3	47	48	52	53	54	55.4	38.6	41	40.1	6.8	84.23
			56	58	58	58	58			54	54	55	56	58						
	J ₃	78/185	60	60	60	60	60	61.8	43.7	46	50	52	55	55	56.4	39.4	41	39.0	13.5	105.11
			60	62	62	62	63			56	56	56	56	58						
24	J ₁	67/246	58	60	60	60	60	61.6	43.5	34	42	44	44	44	52	35.9	33.5	30	6.0	122.51
			61	61	61	62	63			48	50	50	56	56						
	J ₂	81/18	60	60	60	61	62	63.8	45.3	50	51	52	52	52	56.2	39.2	33.5	30.8	8.0	133.86
			63	64	64	64	64			54	56	56	57	58						
	J ₃	21/309	62	63	64	64	64	66.4	47.4	54	58	60	60	60	61.8	43.7	35.5	33.9	6.8	150.32
			65	65	67	67	68			61	61	62	62	63						
27	F	51/180	52	54	54	55	55	59.2	41.6	30	30	33	34	36	38.2	24.8	33.5	25.4	16.0	118.17
			58	58	60	60	60			36	38	38	39	40						
	J ₁	52/6	44	56	56	56	58	58.8	41.3	48	50	52	53	54	57.8	40.5	33.5	33.1	11.0	116.70
			58	58	59	59	60			55	57	58	59	60						
	J ₂	87/285	54	55	56	56	57	59	41.5	47	48	50	50	50	52.2	36.0	33.5	30.9	5.6	109.79
			58	58	59	60	60			50	50	52	54	55						

28	J ₁	51/180	52	54	54	55	55	59.2	41.6	30	30	33	34	36	38.2	24.8	33.5	25.4	16.0	118.17
			58	58	60	60	60			36	38	38	39	40						
	J ₂	87/285	54	55	56	56	57	59	41.5	47	48	50	50	50	52.2	36.0	33.5	30.9	5.6	109.79
			58	58	59	60	60			50	50	52	54	55						
	Fr	11/296	56	57	58	61	62	63.6	45.1	48	50	51	52	52	54.8	38.1	33.5	30.4	6.0	136.66
			62	62	64	65	65			54	54	54	56	56						
29	J ₁	85/195	50	52	52	53	53	55	38.3	42	44	44	47	47	50.4	34.6	33.5	31.6	8.0	94.90
			53	54	55	55	58			48	50	50	52	52						
	J ₂	80/288	49	50	52	53	53	55.4	38.6	26	27	28	30	30	32.8	20.5	33.5	24.1	5.6	96.31
			54	54	54	57	58			32	32	33	33	34						
	J ₃	49/5	44	46	46	48	48	50.6	34.7	28	30	39	42	42	46.6	31.5	33.5	31.7	2.7	87.92
			50	50	50	51	52			43	44	46	50	50						
31	J ₁	43/242	47	48	48	50	52	55.4	38.6	34	38	40	42	42	46.6	31.5	33.5	29.8	6.8	105.70
			53	54	56	57	57			44	45	46	48	50						
	J ₂	32/12	44	47	48	48	48	50.6	34.7	33	34	36	38	38	44.4	29.8	33.5	30.6	12.0	88.36
			48	50	50	52	53			40	42	44	46	50						
	J ₃	75/190	54	56	56	58	59	60.6	42.7	46	46	47	50	50	52.8	36.5	33.5	30.6	5.6	117.80
			60	60	60	61	62			52	52	52	54	54						
32	J ₁	10/21	49	52	54	54	54	54.6	37.9	49	52	54	54	54	54.6	37.9	33.5	33.5	9.5	127.07
			54	54	54	55	56			54	54	54	55	56						
	J ₂	78/190	50	52	52	52	53	54.4	37.8	50	52	52	52	53	54.4	37.8	33.5	33.5	8.0	127.07
			53	54	54	55	56			53	54	54	55	56						
	J ₃	23/224	46	46	47	48	49	51.2	35.2	46	46	47	48	49	51.2	35.2	33.5	33.5	2.7	127.07
			50	50	50	52	54			50	50	50	52	54						

33	F ₁	12/60	56	56	57	57	57	59.4	41.8	48	48	50	53	54	54.8	38.1	33.5	31.7	5.0	133.40
			58	58	60	60	61			54	54	55	55	56						
	F ₂	54/184	53	54	54	54	55	57	39.9	33	35	36	38	40	43.6	29.1	33.5	28.1	5.6	118.02
			55	56	57	58	59			40	42	43	45	48						
	J ₁	87/309	52	54	56	56	56	58.6	41.1	34	36	40	40	41	48	32.7	33.5	29.4	8.0	116.66
			57	58	58	60	60			46	46	48	48	52						
	J ₂	51/24	46	48	52	52	54	56.2	39.2	46	48	52	52	54	56.2	39.2	33.5	33.5	11.0	127.07
			54	55	56	56	60			54	55	56	56	60						

Dónde:

R_N = Número de rebotes proporcionado por un martillo tipo N

R_L = Número de rebotes proporcionado por un martillo tipo L

r = Rebote del esclerómetro o martillo Schmidt sobre una superficie en estado natural

∅_b = Ángulo de fricción Básico

∅_r = Ángulo de fricción Residual

JRC = Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (joint roughness coefficient)

JCS = Resistencia a la compresión de la pared de la discontinuidad (joint wall compression strength)

El valor de JCS en la familia J₃ del Tramo 19, las tres familias del tramo 32 y la J₂ del tramo 33 permanecen inalteradas, por lo que para el JCS se ha tomado el valor de Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa, tal como menciona González de Vallejo et al., 2002, pp.185 - 186. "Si las paredes de la discontinuidad están sanas, ∅_r=∅_b", así mismo, "Si las paredes de la junta no están alteradas o meteorizadas, se toma el valor de la resistencia a compresión simple de la matriz rocosa, σ_c".

Anexo 14.: Cálculo de pesos específicos (método del picnómetro) de las rocas y vetas de la mina aurífera de la Compañía Minervilla Cía. Ltda.

ANEXO 14: CÁLCULO DE PESOS ESPECÍFICOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO) DE LAS ROCAS Y VETAS DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA.

N° Ensayo	Código Muestra	P	M	S	W	Pe	Densidad (g/cm ³)	Masa	Volumen
1	PMV-MR01 (1)	16.93	20.29	29.17	26.95	2.95	2.89	3.36	1.16
	PMV-MR01 (2)	31.68	50.69	94.17	81.6	2.95	2.90	19.01	6.56
	PMV-MR01 (3)	48.07	82.63	170.63	147.77	2.95	2.90	34.56	11.93
	PROMEDIO						2.95	2.89	
2	PMV-MR02 (1)	16.77	21.78	30	26.7	2.93	2.87	5.01	1.74
	PMV-MR02 (2)	32.89	52.81	95.96	82.81	2.94	2.89	19.92	6.90
	PMV-MR02 (3)	47.54	87.29	173.5	147.28	2.94	2.88	39.75	13.79
	PROMEDIO						2.94	2.88	
3	PMV-MR03 (1)	16.92	20.09	28.96	26.95	2.73	2.68	3.17	1.18
	PMV-MR03 (2)	31.68	51.39	94.12	81.6	2.74	2.69	19.71	7.33
	PMV-MR03 (3)	48.07	81.25	168.85	147.77	2.74	2.69	33.18	12.33
	PROMEDIO						2.74	2.69	
4	PMV-MR04 (1)	19.23	24.45	32.58	29.15	2.92	2.86	5.22	1.82
	PMV-MR04 (2)	16.69	26.45	47.6	41.2	2.90	2.85	9.76	3.43
	PMV-MR04 (3)	47.54	81.37	169.4	147.12	2.93	2.87	33.83	11.77
	PROMEDIO						2.92	2.86	
5	PMV-MR05 (1)	19.23	23.25	31.72	29.15	2.77	2.72	4.02	1.48
	PMV-MR05 (2)	32.29	46.39	91.16	82.15	2.77	2.72	14.1	5.19
	PMV-MR05 (3)	47.54	76.22	165.58	147.28	2.76	2.71	28.68	10.58
	PROMEDIO						2.77	2.72	
6	PMV-MR06 (1)	16.92	20.68	29.33	26.95	2.72	2.67	3.76	1.41
	PMV-MR06 (2)	31.68	49.56	92.93	81.6	2.73	2.68	17.88	6.68
	PMV-MR06 (3)	47.3	81.65	168.84	147.13	2.72	2.67	34.35	12.88
	PROMEDIO						2.72	2.67	
7	PMV-MR07 (1)	17.48	20.3	29.32	27.47	2.91	2.85	2.82	0.99
	PMV-MR07 (2)	31.68	50.5	93.99	81.6	2.93	2.87	18.82	6.55
	PMV-MR07 (3)	47.54	90.92	175.79	147.29	2.92	2.86	43.38	15.17
	PROMEDIO						2.92	2.86	
8	PMV-MR08 (1)	21.11	30.05	51.03	45.08	2.99	2.93	8.94	3.05
	PMV-MR08 (2)	28.5	48.17	91.48	78.39	2.99	2.93	19.67	6.71
	PMV-MR08 (3)	47.54	90.17	175.67	147.29	2.99	2.93	42.63	14.53
	PROMEDIO						2.99	2.93	
9	PMV-MR09 (1)	16.93	21.5	29.83	26.91	2.77	2.72	4.57	1.68
	PMV-MR09 (2)	16.14	26.63	48.5	41.81	2.76	2.71	10.49	3.87
	PMV-MR09 (3)	47.54	87.29	172.36	147.24	2.72	2.67	39.75	14.91
	PROMEDIO						2.75	2.70	

10	PMV-MR10 (1)	12.5	15.9	24.93	22.78	2.72	2.67	3.4	1.27
	PMV-MR10 (2)	19.71	30.46	51.41	44.59	2.74	2.68	10.75	4.01
	PMV-MR10 (3)	30.12	59.2	102.23	83.94	2.70	2.64	29.08	11.00
	PROMEDIO					2.72	2.67		
11	PMV-MV01 (1)	26.89	63.85	104.49	78.95	3.24	3.17	36.96	11.64
	PMV-MV01 (2)	15.46	35.46	55.09	41.28	3.23	3.17	20	6.31
	PMV-MV01 (3)	16.77	23.08	31.06	26.7	3.24	3.17	6.31	1.99
	PROMEDIO					3.23	3.17		
12	PMV-MV02 (1)	16.9	25.26	33.29	26.89	4.27	4.18	8.36	2.00
	PMV-MV02 (2)	32.1	55.72	74.59	56.69	4.13	4.05	23.62	5.83
	PMV-MV02 (3)	32.29	86.4	123.03	82.18	4.08	4.00	54.11	13.52
	PROMEDIO					4.16	4.08		
13	PMV-MV03 (1)	47.54	102.1	183.07	147.23	2.91	2.86	54.58	19.10
	PMV-MV03 (2)	30.24	62.45	104.77	83.65	2.90	2.85	32.21	11.30
	PMV-MV03 (3)	16.9	23.5	31.21	26.89	2.89	2.84	6.6	2.32
	PROMEDIO					2.90	2.85		
14	PMV-MV04 (1)	47.84	108.3	191.72	147.48	3.72	3.65	60.48	16.55
	PMV-MV04 (2)	28.51	67.7	106.97	78.37	3.70	3.63	39.19	10.80
	PMV-MV04 (3)	19.23	28.42	35.83	29.16	3.65	3.58	9.19	2.57
	PROMEDIO					3.69	3.62		

Dónde:

- **P**= Masa del picnómetro
- **M**= Masa del picnómetro con Muestra
- **S**= Masa del picnómetro + Muestra + Agua
- **W**= Masa del picnómetro con Agua
- **Pe**= Peso específico de la Muestra

Anexo 15.: Sostenimiento a emplearse en la galería principal de transporte en Minervilla Cía. Ltda.

ANEXO 15: SOSTENIMIENTO A EMPLEARSE EN LA GALERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE EN MINERVILLA CÍA. LTDA.

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, esto para calcular la longitud y se ha complementado con los parámetros propuestos por CASTEM E.I.R.L. Capacitación y Servicio Técnico Minero, la cual nos permitirá corroborar si la longitud del perno es la adecuada.

Se presta mayor atención a estos sectores con la finalidad de evitar accidentes por caídos de rocas, lo cual impida un normal funcionamiento de las labores mineras. En estos sectores se realizan los cálculos considerando la cuña más grande ya que cuñas pequeñas (con alturas de ápices centimétricas) generalmente ya no se encuentran, producto de los procesos de perforación y voladura. Cabe recalcar que las medidas propuestas pueden tener ligeras variaciones de acuerdo a las condiciones in situ, por ejemplo en intersecciones de galerías.

• 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):

$$L = \frac{2+0.15B}{ESR}; \quad [1]$$

- **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 (con excepción de las cámaras de alta presión para compuertas), túneles pilotos (exploración), excavaciones parciales para cámaras subterráneas grandes.

Una vez obtenido el valor de la longitud se procede a su distribución en función de una malla adecuada a la calidad del macizo, a su longitud y además se los coloca en función de la disposición y condiciones de las familias de discontinuidades in situ.

- **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:

- a) **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.

$$L = 0.3e^{(0.7h\rho-4.2)} + h + 0.31; \quad [2]$$

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

- b) **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).

$$dn = 12.73\sqrt{m_n}; \quad [3]$$

- **m_n**= masa nominal (Kg/m)

- c) **Adherencia entre el perno y el cemento (τ; (Kg/cm²)):** Calculada tomando en cuenta una resistencia a la tracción mínima del perno = 6330 Kg/cm²

$$\tau = 0.25 * Rc * \frac{d}{L}; \quad [4]$$

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

- d) **Área del perno (S; cm²)**

$$S = \pi r^2; \quad [5]$$

- **r** = Radio del perno de anclaje

- e) **Circunferencia del perno (U; cm)**

$$U = \pi d; \quad [6]$$

- **d** = Diámetro del perno de anclaje

- f) **Capacidad del perno (P; Kg)**

$$P = \tau * U * L; \quad [7]$$

Posterior al cálculo de los ítems indicados se determina el *Peso muerto de la cuña* (T), el cual para el presente trabajo se ha tomado del procesamiento de datos del software Unwedge 3.0.

Finalmente se procede a calcular el Factor de Seguridad (FS).

g) Factor de seguridad (FS)

$$FS = \frac{P}{T}; \quad [8]$$

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

VARILLA MICROALEADA
FICHA TÉCNICA - Edición No. 1

EL ACERO DEL FUTURO
NOVACERO

Figura 1. Características de varillas microaleadas
Fuente. Ficha técnica de varilla microaleada Novacero

Una vez que se ha calculado el FS, se determina si la capacidad del perno elegido es la adecuada o no, si éste valor es menor a 3.0 (Factor de Seguridad permanente), 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. La distribución de los pernos respecto a la malla será conforme se muestra en la Figura 2, la cual permite un mejor comportamiento y soporte.

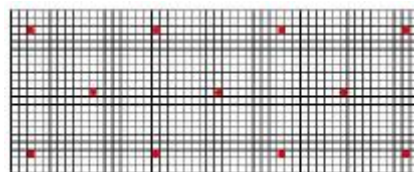


Figura 2. Distribución de los pernos en la malla electrosoldada
Fuente. Guía para los pernos de anclaje en roca

El diámetro de perforación generalmente se calcula con la expresión:

$$\varnothing_P = \varnothing_{Barra} + 10 \text{ a } 20 \text{ mm}; \quad [9]$$

Dado a que en Minervilla se realizan las perforaciones con broca de 32 mm, se ha determinado que es suficiente realizar con éste diámetro las perforaciones para los pernos. Otro dato importante es que los pernos deben ser sujetos con una placa y tuerca y tener un relleno de lechada de hormigón.

• **MEDIDAS DE SOSTENIMIENTO PARA LA GELERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE**

Tabla 1.

Resumen del cálculo de pernos en los tramos donde se forman cuñas tetraedrales

TRAMO		DATOS DE LA MÁXIMA CUÑA FORMADA			CARACTERÍSTICAS DEL PERNO DE ANCLAJE										
N°	Litología	Densidad (Ton/m ³)	Ápice (m)	Peso (Ton)	Longitud (m)	Diámetro (cm)	Masa Nominal (Kg/m)	Diámetro Nominal (mm)	Resistencia a la Tracción (Kg/cm ²)	Adherencia perno - cemento (Kg/cm ²)	Área (cm ²)	Perímetro (cm)	Capacidad (Ton)	Factor de Seguridad	Longitud aplicable in situ (m)
1	Basalto de hornblenda alterado	2.88	0.41	0.458	0.730	1.8	1.998	17.994	6330	39.006	2.545	5.655	16.108	35.170	1.00
8	Basalto de hornblenda alterado	2.86	2.78	15.871	4.265	2.2	2.984	21.990	6330	8.162	3.801	6.912	24.062	1.516	1.50
16	Basalto de hornblenda alterado	2.86	0.59	0.776	0.915	2.0	2.466	19.991	6330	34.603	3.142	6.283	19.886	25.627	1.00
19	Basalto de hornblenda alterado	2.86	0.26	0.028	0.578	1.6	1.578	15.991	6330	43.839	2.011	5.027	12.727	454.544	1.00
20	Dacita porfídica de hornblenda	2.67	0.88	1.145	1.213	1.8	1.998	17.994	6330	23.477	2.545	5.655	16.108	14.070	1.20
24	Basalto de hornblenda	2.86	2.78	7.021	4.265	2.2	2.984	21.990	6330	8.162	3.801	6.912	24.062	3.427	2.00
27	Basalto de hornblenda	2.86	0.74	2.126	1.070	2.2	2.984	21.990	6330	32.544	3.801	6.912	24.062	11.318	1.50
28	Basalto de hornblenda	2.86	0.71	2.629	1.039	2.2	2.984	21.990	6330	33.520	3.801	6.912	24.062	9.153	1.00
29	Basalto de hornblenda	2.86	1.42	3.844	1.807	2.0	2.466	19.991	6330	17.513	3.142	6.283	19.886	5.173	1.80
31	Basalto de hornblenda	2.93	0.27	0.141	0.588	1.6	1.578	15.991	6330	43.074	2.011	5.027	12.727	90.200	1.00
32	Basalto de hornblenda	2.93	1.41	12.23	1.801	2.0	2.466	19.991	6330	17.573	3.142	6.283	19.886	1.626	1.50
33 (4)	Basalto de hornblenda	2.93	1.12	5.557	1.475	2.2	2.984	21.990	6330	23.608	3.801	6.912	24.062	4.330	1.50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Resumen del cálculo de pernos en los tramos donde no se forman cuñas tetraedrales

N° TRAMO	LITOLOGÍA	DISTANCIA (m.)	ANCHO DE EXCAVACIÓN (m.)	LONGITUD DEL PERNO (m.)	LONGITUD A EMPLEARSE (m.)
2 - 4	Basalto de hornblenda alterado	40	2.2	1.46	1.5
5 - 7	Basalto de hornblenda alterado	88	1.75	1.41	1.5
9 - 12	Basalto de hornblenda alterado	44	1.8	1.42	1.5
13	Cuarzo diorita de hornblenda	11	1.9	1.43	1.5
14 - 15	Basalto de hornblenda alterado	72	1.9	1.43	1.5
17 - 18	Basalto de hornblenda alterado	17	2	1.44	1.5
21	Basalto de hornblenda	13	2	1.44	1.5
22	Cuarzo diorita de hornblenda	7	2	1.44	1.5
23	Basalto de hornblenda	23	2	1.44	1.5
25	Cuarzo diorita de hornblenda	32	1.95	1.43	1.5
26	Basalto de hornblenda	29	1.95	1.43	1.5
30	Basalto de hornblenda	25	2.95	1.53	1.5
34	Basalto de hornblenda	15	3	1.53	1.5

Fuente. Elaboración propia

- **Tramo 1**

Para el primer tramo, los cálculos indican que un perno de 0.73 metros de longitud y diámetro de 18 mm es suficiente, sin embargo, dadas las condiciones geomecánicas del macizo y para asegurar un Factor de Seguridad permanente, se sugiere que los pernos tengan una longitud mínima de 1.00 metros, los cuales se combinarán con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada, ubicados en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m. y con traslapes de 0.30 m.

Ante lo expuesto anteriormente y en base al ancho de la galería en este sector, se requerirá el empleo de 56 pernos de anclaje, dispuestos como se muestra en el Cuadro 50 del texto principal, perteneciente al análisis tridimensional mediante software Unwedge 3.0, es decir perpendicularmente a la sección de la galería, sosteniendo principalmente a la Familia J2. Estas medidas de sostenimiento permitirán alcanzar el grado de seguridad requerido.

- **Tramos 2, 3 y 4**

Para los tramos 2, 3 y 4 se ha determinado la colocación de pernos de 1.5 metros de longitud y en función de la distancia total de los tramos, el ancho de la excavación y la malla del empernado de 1.2 x 1.2 m, se ha determinado el empleo de 102 pernos, ubicados perpendicularmente a la sección de la galería, dispuestos como lo muestra la Figura 2, además deben combinarse con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada, y con traslapes de 0.30 m.

Debido a la presencia de agua, la malla puede llegar a oxidarse y desgastarse rápidamente por lo que ésta debe ser de tipo galvanizada o cubrirla con pintura anticorrosiva antes de instalarla. Los pernos igual que el tramo 1 deben tener un diámetro mínimo de 18 mm.

- **Tramos 5, 6 y 7**

En función de longitud total de los tramos (88 m.), la clasificación geomecánica, las condiciones de sostenimiento natural y el ancho de la excavación se ha determinado el empleo de 58 pernos, considerando un perno cada 1.5 metros, ubicados aleatoriamente y perpendiculares a la sección de la galería. Se emplearían pernos de barra helicoidal con las mismas características de los tramos anteriores.

- **Tramo 8**

Según los cálculos realizados; un perno de 22 mm de diámetro y 4.41 metros de longitud daría un Factor de Seguridad de 1.516, sin embargo dadas las condiciones in situ, las cuales han determinado un macizo de buena calidad y la disposición de las cuñas, no es necesario el empleo de medidas de sostenimiento ya que presentan una estabilidad natural, dando Factores de Seguridad mayores a 3.0. Además la cuña 7, que se muestra en la Figura 56 del texto no se ha identificado en campo, la cual posiblemente pudo haber caído luego de la voladura.

Se justifica además la no ubicación de pernos de esta longitud, debido a la reducida sección de la galería en este tramo la cual no permitirá su perforación e instalación, sin embargo, empleando la fórmula propuesta por Barton et al., 1980, se debería ubicar pernos de 1.40 m ($\cong 1.50$ m.) de longitud. Considerando esto, se plantea la ubicación de 7 pernos de 18 mm de diámetro, ubicados en el techo: 1 cada 1.5 m. y perpendiculares a la sección de la galería.

- **Tramos 9, 10, 11 y 12**

En función de la clasificación geomecánica, la longitud de los tramos, las condiciones de sostenimiento natural y el ancho de la excavación, se ha determinado el empleo de 12 pernos de anclaje para el tramo 9 ya que presenta un macizo de calidad media, deben ir ubicados en el techo de la excavación considerando una malla de 1.2 x 1.4 m. Además 24 pernos para los tramos 10, 11 y 12, dispuestos aleatoriamente considerando un perno cada 1.5 metros, ubicados perpendicularmente a la sección de la galería en los tramos 10 y 11 y para el tramo 12 deben ir ubicados inclinadamente, entre 15° a 30° con respecto a la familia J2, esto para que los pernos trabajen a cizalla. El diámetro de los pernos igual debe tener un mínimo de 18 mm.

- **Tramos 13, 14 y 15**

Se ha determinado el empleo de 16 pernos para el tramo 13, considerando una malla de 1.2 x 1.4 m., 18 pernos para el tramo 14, dispuestos aleatoriamente considerando un perno cada 1.5 metros y 64 pernos para el tramo 15, considerando una malla de 1.2 x 1.4 m. El diámetro de los pernos no debe ser menor de 18 mm.

- **Tramo 16**

Según los cálculos, un perno de 0.915 m. de longitud es suficiente, sin embargo se ha considerado el inmediato superior, por lo tanto deben emplearse 70 pernos helicoidales de 20 mm de diámetro y 1.0 m de longitud, los cuales deben combinarse con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro y 10 x 10 cm de cocada, ubicados en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m. y con traslapes de 0.30 m., justificándose ya que el tramo se ve afectado por una pequeña falla dextral, subvertical y con relleno blando, la cual se dispone con aproximadamente 30° respecto al eje de la galería. Además los pernos deben ubicarse perpendicularmente a la sección de la galería.

- **Tramos 17, y 18**

Ambos tramos tienen la misma calidad de macizo rocoso por lo que en estos 17 metros se sugiere la ubicación de 24 pernos considerando una malla de 1.2 x 1.4 m. El diámetro a aplicarse será de 18 mm y una longitud de 1.5 m. y deben ir ubicados de manera perpendicular respecto a la sección de la galería.

- **Tramo 19**

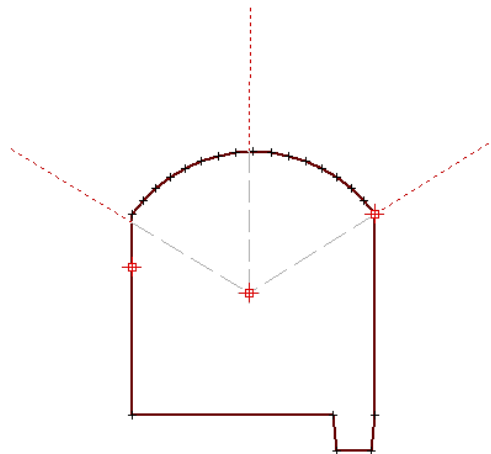
El tramo en estudio tiene una longitud de nueve metros, comprendiendo un macizo de calidad media para el cual según los cálculos se ha determinado un sostenimiento con pernos de anclaje de 16 mm y longitudes de 0.58 m., sin embargo se sugiere ubicar 20 pernos de anclaje de 1 m de longitud en una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m. los cuales deben ir ubicados como se indica en la Figura 2 y combinarse con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m., justificándose el uso de la malla ya que servirá para evitar el desprendimiento de pequeñas cuñas especialmente desde el techo de la excavación.

- **Tramo 20**

Este tramo corresponde a un macizo de calidad media y las cuñas que se forman no afectan más de 1.5 metros del tramo por lo que un buen desquinche en el techo sería necesario para eliminar fragmentos pequeños, pese a esto se sugiere la ubicación de 18 pernos de anclaje helicoidales de 1.2 m. de longitud, 18 mm de diámetro en una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., ubicados perpendicularmente a la sección de la galería. Tanto en la Tabla como en el resultado del software que se muestra en el Cuadro 54 se puede apreciar que con un pernos de estas características, se garantiza un Factor de Seguridad permanente.

- **Tramos 21, 22 y 23**

Los tres tramos comprenden un macizo de calidad media por lo que en estos 43 metros se sugiere la ubicación de 93 pernos de anclaje de tipo helicoidal con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., siendo el eje de la galería el centro de la separación de los pernos, formando un ángulo aproximadamente de 60° entre cada perno (ver Figura 3).



*Figura 3. Distribución de los pernos de anclaje para los tramos 21 – 23
Fuente. El autor, 2017.*

- **Tramo 24**

Este tramo presenta un macizo de calidad media en donde sus familias de diaclasas forman tres cuñas tetraedrales, de las cuales se presta mayor atención a la cuña N° 5. Pese a que las condiciones geomecánicas indican que no existen problemas de estabilidad se sugiere primeramente realizar un desquinche en la parte superior izquierda, con la finalidad de eliminar la cuña 8 en el caso que aún no haya caído y posterior a ellos ubicar 19 pernos de anclaje helicoidales, de 2.00 m de longitud y 22 mm de diámetro, dispuestos en una fila, con separaciones de 1.2 m. y con 30° de inclinación respecto a la horizontal, en la pared derecha tal como se muestra en el Cuadro 55 del texto. El cálculo de la longitud (4.265 m), realizado con la ecuación [2] no se ha considerado porque debido a la sección de la galería en este tramo no permitirá la perforación e instalación de un perno con estas características.

- **25 y 26**

Estos tramos comprenden un macizo de calidad media por lo que en estos 61 metros se sugiere la ubicación de 86 pernos de anclaje helicoidales con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m., siendo el eje de la galería el centro de la separación de los pernos, como se muestra en la Figura 4.

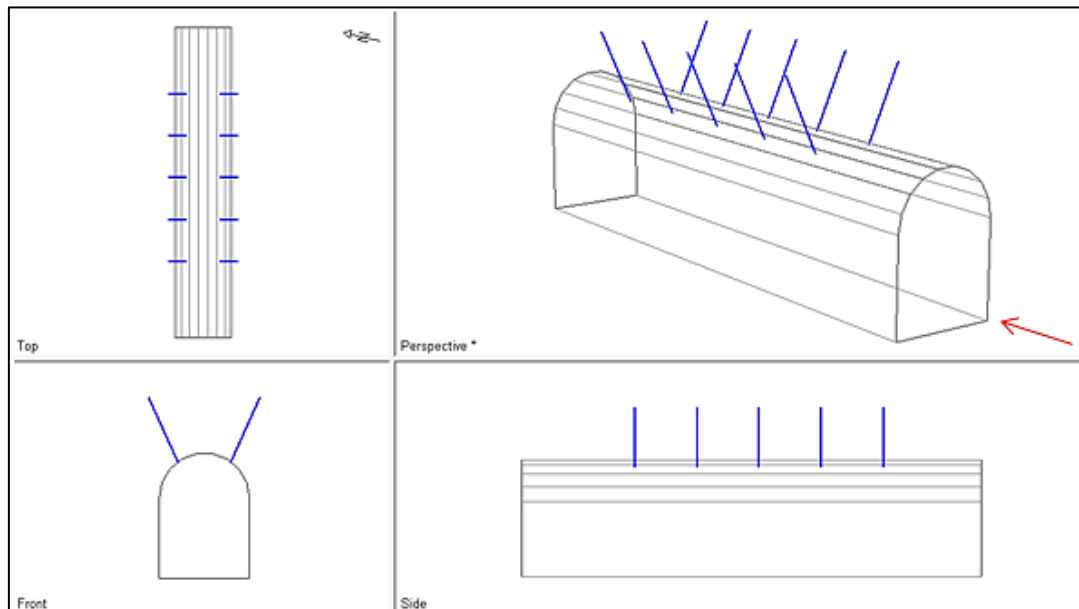


Figura 4. Distribución de los pernos de anclaje para los tramos 25 y 26
Fuente. El autor, 2017.

- **Tramo 27**

Este tramo presenta un macizo de calidad media con un índice RMR = 41 lo cual está en el límite de un macizo de mala calidad y dadas las condiciones in situ y la presencia de una falla, se ha considerado el sostenimiento haciendo referencia a este tipo de macizo.

La interacción de sus familias de diaclasas forman tres cuñas tetraedrales, mismas que no superan 0.74 m. de potencia y según la fórmula [2], un perno de 1.070 m y 22 mm de diámetro brindaría un Factor de Seguridad de 11.318 respecto a la cuña 5, sin embargo al considerar la potencia de la falla, se plantea la ubicación de 48 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal, los cuales deben tener una longitud mínima de 1.50 m, distribuidos en una malla de 1.2 x 1.2 m, además se los debe combinar con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m., dispuestos según la Figura 2. Además se sugiere ubicar una fila de 9 pernos de anclaje de las mismas características en cada pared de la galería, espaciadas a 1.2 m.

Se debe tomar en cuenta que debido a la presencia de abundante agua, la malla puede llegar a oxidarse y desgastarse rápidamente por lo que se debe ubicar malla galvanizada o pintura anticorrosiva antes de instalarla. Considerando las cuñas que se forman en las paredes de la galería, las cuales poseen un Factor de Seguridad menor a 3.0, se sugiere ubicar una fila de 9 pernos de anclaje de las mismas características en cada pared, espaciadas a 1.2 m.

- **Tramo 28**

Este tramo presenta un macizo de calidad media en donde las cuñas que se forman en el techo tienden a ser las más inestables, sin embargo se puede asegurar que ya cayeron debido al constante desprendimiento de material que se ha evidenciado.

Considerando la Fórmula [2], se requieren pernos de 1.0 m longitud, ante lo cual se sugiere ubicar 48 pernos de anclaje de 22 mm de diámetro, ubicados en una malla de perforación de 1.2 x 1.2 m., para la ubicación de los pernos se deben realizar perforaciones desde un punto central con ángulos aproximados de 45° entre pernos, como se detalla en la Figura 5. Además se sugiere ubicar un perno en la pared izquierda, con la finalidad de sostener la cuña 4.

Debido a la presencia de una fractura subhorizontal en el techo de la galería se sugiere ubicar malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m., esta malla será la encargada de sostener el material suelto.

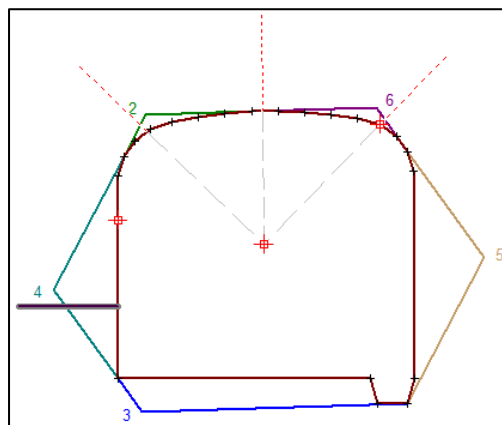


Figura 5. Distribución de los pernos de anclaje en el tramo 28.
Fuente. El autor, 2017.

- **Tramo 29**

Este tramo presenta un macizo de calidad media con la formación de tres cuñas tetraedrales de las cuales se presta mayor atención a la cuña de la parte derecha del techo, ante lo cual se ha determinado que la longitud adecuada de los pernos de anclaje es de 1.80 m y 20 mm de diámetro. Debido al ancho de la galería en este tramo (3.4 m.), se sugiere la ubicación de 56 pernos en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 m, dispuestos según la Figura 2, combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m., justificándose ya que en este tramo existe intersección de galerías, tuberías y mangas de ventilación, además de un pulmón de aire comprimido, los cuales no se deben ver afectados por caídos de roca, mismos que ya han sido presenciados durante la ejecución del presente trabajo en las proximidades de la galería principal de transporte.

La ubicación de los pernos según la malla sugerida, permitirá el sujetamiento de la cuña con 5 pernos de anclaje, garantizando un Factor de Seguridad permanente y garantizando la seguridad de la galería.

- **Tramo 30**

El tramo corresponde a un macizo de calidad media, sin embargo, dadas las condiciones in situ, pese a que no se han formado cuñas, el macizo presenta gran meteorización, además existe intersección de galerías por lo que se ha considerado la clasificación modificada de Bieniawsky en subclases propuestas por Romana (2000), según esta clasificación el tramo es considerado como macizo de *Media a Mala Calidad* y es por ello que para su estabilización se plantea la ubicación de pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.5 metros de longitud la cual ha sido determinada según la Fórmula [1], de 18 mm de diámetro, rellenos con lechada de hormigón y dispuestos en una malla de 1.2 x 1.2 m, como se muestra en la Figura 2, además se debe ubicar malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m. En total se emplearían 60 pernos de anclaje. En la Figura 6 se muestra la distribución de los pernos de anclaje, recalcando que se muestra la manera de cómo se los ubicaría, mas no se evidencia la cantidad de pernos sugerida.

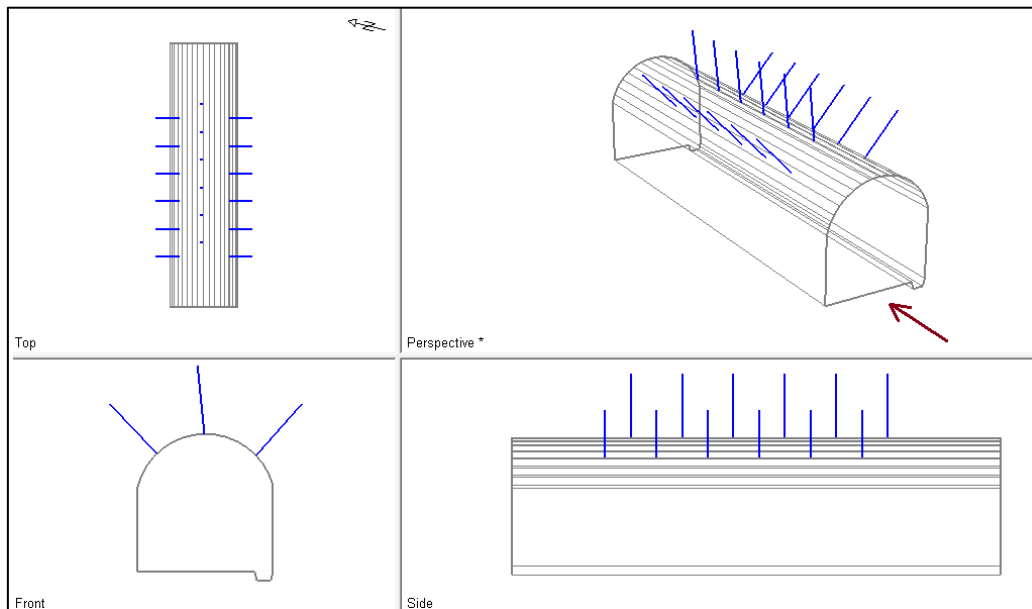


Figura 6. Distribución de los pernos de anclaje para el Tramo 30
Fuente. El autor, 2017.

- **Tramo 31**

Este tramo comprende un macizo de calidad media y no se ha evidenciado problemas de estabilidad, sin embargo se recomienda ubicar 24 pernos de anclaje helicoidales de 1.00 m. de longitud y 16 mm de diámetro, ubicados de manera perpendicular a la sección de la galería y con una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m.

En el análisis se ha determinado que la menor cuña formada es la N° 8 y por su tamaño centimétrico y por los proceso de perforación y voladura se asume que ya cayó. Las cuñas 4 y 7 son decimétricas y de ellas la 7 presenta menor estabilidad y se presenta en la parte superior izquierda de la galería.

La ubicación de los pernos según la malla sugerida, garantizará la seguridad requerida en este sector.

- **Tramo 32**

El tramo presenta un macizo de calidad media con presencia de formación de cuñas tetraedrales, de las cuales las del techo son las que mayor inestabilidad pueden presentar, sin embargo las cuñas 6 y 8 es muy probable que hayan caído en el proceso de perforación y voladura. La cuña 2 debido a su disposición y características de las discontinuidades, presenta un autosostenimiento y no presentará fallamiento por ningún tipo. La cuña 7 es la que presenta una potencia mayor a 1.00 m sin embargo debido a su disposición y condiciones de las juntas igualmente presenta un autosostenimiento.

Se plantea la ubicación de dos filas de pernos de anclaje de tipo helicoidal de 1.0 m de longitud y 20 mm de diámetro, dispuestos en el techo en una malla de 1.2 x 1.4 m., además de una fila de pernos de 1.50 m. en la pared derecha de la galería espaciados entre sí 1.4 m. empleándose en total 34 pernos de 1.00 m. y 17 de 1.5 m de longitud. Las perforaciones para los pernos deben realizarse desde un punto central, como se muestra en la Figura 7.

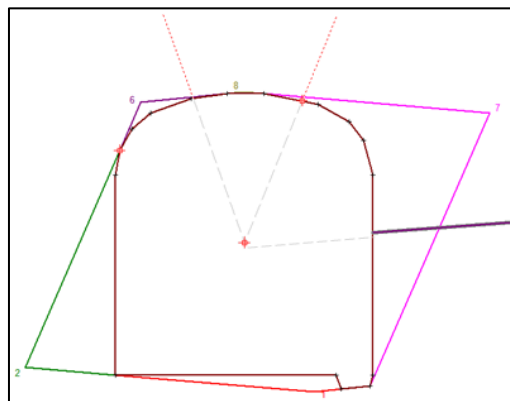


Figura 7. Distribución de los pernos de anclaje en el tramo 32.
Fuente. El autor, 2017.

- **Tramo 33**

El tramo 33 comprende un macizo de calidad media el cual se ve afectado principalmente por dos fallas y a 576 metros desde la bocamina se presenta desprendimiento de material blando desde el techo y parte de la pared derecha de la galería.

De todas las combinaciones posibles para formar cuñas se tiene que las combinaciones F1-F2-J1 y F2-J1-J2 presentan las cuñas con mayor posibilidad de fallamiento, habiéndose constatado en campo la caída de material desde el techo, la cual correspondería a la cuña 8 de la combinación F1-F2-J1, sin embargo la cuña 4 no se ha presenciado y se asume que pudo haberse eliminado debido a que la zona comprende una zona de intersección con la galería de la veta Rosita, con lo que el sostenimiento se ha determinado en base a la combinación F2-J1-J2.

Se sugiere la ubicación de 123 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal de 1.50 m de longitud y 22 mm de diámetro, dispuestos en una malla de 1.2 x 1.2 m., combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, cocada de 10 x 10 cm y con traslapes de 0.30 m. en el techo de la galería.

Además se sugiere la ubicación de dos pernos de anclaje de las mismas características en cada pared de la galería, esto para garantizar la seguridad requerida para las cuñas 4 y 5. En general, los pernos deben ubicarse como se muestra en la Figura 8, esto es las perforaciones realizadas desde un punto fijo.

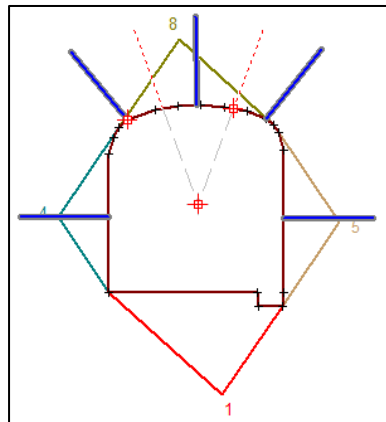


Figura 8. Distribución de los pernos de anclaje en el tramo 32.
Fuente. El autor, 2017.

- **Tramo 34**

El tramo comprende un macizo de calidad media en donde no se ha evidenciado la formación de cuñas, sin embargo dadas las condiciones geomecánicas y para asegurar un Factor de Seguridad Permanente se sugiere ubicar 33 pernos de anclaje de tipo barra helicoidal con diámetro de 18 mm y una longitud de 1.5 m., rellenos con lechada de hormigón y considerando una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m. dispuestos de manera similar a la Figura 6.

- **CONCLUSIONES PARA LA UBICACIÓN DE SOSTENIMIENTO**

En base a las clasificaciones geomecánicas y a los cálculos descritos se ha llegado a la conclusión que para macizos de mala calidad, macizos de calidad media que tengan índices RMR entre 41 y 50, macizos afectados por falla o gran meteorización y sectores donde se formen potenciales cuñas, se deben emplear pernos de anclaje helicoidales en una malla de distribución de 1.2 x 1.2 y combinados con malla electrosoldada de 6 mm de diámetro, 10 x 10 cm de cocada y con traslapes de 0.30 m. Para aquellos tramos de calidad media, que presenten índices índice RMR entre 51 a 60 se deben ubicar pernos de anclaje helicoidales en una malla de distribución de 1.2 x 1.4 m y para macizos de buena calidad, que presenten índices RMR entre 61 a 80 se deben ubicar pernos helicoidales de 1.5 m de longitud, ubicados aleatoriamente cada 1.5 m.

Los pernos helicoidales se constituyen en pernos de alta adherencia debido a la presencia de los resaltos de la barra, mismos que dan una buena condición mecánica para la obtención de una elevada capacidad de anclaje, con lo cual se constituyen en pernos permanentes que pueden combinarse con malla y así garantizar estabilidad a la galería.