UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

TÍTULO

"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

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

AUTOR

WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ

DIRECTOR

Ing. HERNÁN LUIS CASTILLO GARCIA, Mg. Sc.

2020

CERTIFICACIÓN

Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que el señor egresado **WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ**, realizó el presente trabajo de tesis: "**DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY**" bajo mi dirección y supervisión, cumpliendo con las enmiendas y consideraciones necesarias. Por lo que faculto su presentación.

Loja, 06 de enero de 2020

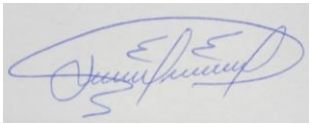
Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ** declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a 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: …….
Cédula: 210041264-8
Fecha: 06 de enero del 2020

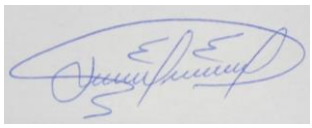
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ**, declaro ser autor de la tesis titulada **"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL 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 tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de enero del dos mil veinte.



Firma: ……

Autor: WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ

Cédula: 210041264-8

Dirección: Calle Amazonas 337 y Rocafuerte (Napo-Tena)

Correo electrónico: geotopowj@gmail.com

Teléfono Celular: 0981752823

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.

Tribunal de grado: Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho, Mg. Sc.

Ing. Diego Israel Castillo Jaramillo, Mg. Sc.

Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece a la Universidad Nacional de Loja, su personal Docente y Administrativo, de manera especial a la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, cuyos maestros fueron los forjadores de su educación.

Además, agradecer de manera especial al ingeniero Hernán Luis Castillo, y de igual manera al Ingeniero Alberto Salazar representante del Área Minera Renacer M3, quienes de manera desinteresada colaboraron para la realización del proyecto de tesis.

El Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y mi vida. A mi esposa Soraya y mis hijos Jhoe y Cristina por su apoyo incondicional y comprensión durante este largo camino. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional como ser humano.

El Autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN II
AUTORÍA III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS IV
AGRADECIMIENTO V
DEDICATORIA VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS VII
ÍNDICE DE FIGURAS XII
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS XIII
1. TÍTULO 1
2. RESUMEN 2
3. INTRODUCCIÓN 4
4. REVISIÓN DE LITERATURA 5
Terminología 5
Topografía 6
4.1.1. Topografía subterránea 7
Geología 8
4.1.2. Geología estructural. 9
Yacimientos Minerales 10
4.1.3. Definición de yacimientos minerales. 10
4.1.2. Origen de los yacimientos minerales. 11
4.1.3. Clasificación de los yacimientos según su génesis. 12
Actividad Minera 15
4.1.4. Fases de la minería. 16
4.1.5. Sistemas de explotación minera. 18
Excavaciones Mineras 19
4.1.6. Excavaciones mineras subterráneas verticales. 20
Propiedades Físico Mecánicas de las rocas 23
4.1.7. Propiedades índice. 23
4.1.8. Propiedades físicas. 24
4.1.9. Propiedades mecánicas de las rocas. 29
Caracterización del Macizo Rocoso 31
4.1.10. Terminología de las características de los macizos rocosos. 31
4.1.11. Discontinuidades. 32
4.1.12. Clasificaciones geomecánicas. 36
4.1.13. Laboreo de excavaciones horizontales. 40

5. MATERIALES Y MÉTODOS. 41
Metodología 41
Primer objetivo.... 42
Segundo Objetivo.... 46
Tercer objetivo 51
6. RESULTADOS 53
Datos Generales 53
6.1. Ubicación y Acceso 53
6.1.1. Situación geográfica político administrativa.... 53
6.1.2. Coordenadas 54
6.1.3. Acceso 55
6.2. Levantamiento topográfico 56
6.2.1. Topografía superficial 56
6.2.2. Topografía subterránea.... 56
6.3. Geología.... 57
6.3.1. Geología regional. 57
6.3.2. Geología local. 63
6.3.3. Geología Estructural.... 69
6.4. Propiedades Físico-Mecánicas.... 71
6.5. Caracterización Geomecánica Para El Diseño De La Galería. 74
6.5.1. Determinación del índice de calidad de la roca RMR por el método de Bieniawski74
6.5.2. Determinación del índice Q de Barton.... 79
6.5.3. Datos preliminares de Diseño 85
6.5.4. Dimensionamiento preliminar de la galería de explotación.... 86
6.5.5. Propiedades de la Roca y Macizo Rocoso 87
6.6. Parámetros Técnicos Para el Diseño de la Galería 87
6.7. Elección de la forma de la sección del túnel.... 89
6.8. Determinación de las dimensiones de la sección transversal.... 89
6.9. Franqueo con Trabajos de Perforación y Voladura 92
6.10. Cálculo de los Parámetros de Perforación y Voladura.... 95
6.11. Número de Barrenos en el Frente (Distribución de Carga Explosiva) 98
6.12. Profundidad de los Barrenos 100
6.13. Distribución de los Barrenos en el Frente 100
6.14. Elección del Tipo de Cuele.... 101

6.15. Distribución de Barrenos de Arranque 102
6.15.1. Perímetro de la sección de los barrenos de arranque. 102
6.15.2. Distancia media entre los barrenos de arranque. 102
6.15.3. Número de barrenos de arranque por el piso. 103
6.15.4. Distancia entre los barrenos de arranque por el piso 103
6.15.5. Número de barrenos de arranque por los lados. 103
6.15.6. Distancia entre los barrenos de arranque por los lados. 103
6.15.7. Número de barrenos de arranque por el techo. 104
6.15.8. Perímetro de la sección de arranque por el techo. 104
6.15.9. Distancia entre los barrenos por el techo. 104
6.16. Distribución de Barrenos de Contorno 105
6.16.1. Perímetro de la excavación de la sección transversal del túnel. 105
6.16.2. Distancia media entre los barrenos de contorno. 105
6.16.3. Número de barrenos de contorno por el piso. 105
6.16.4. Distancia entre los barrenos de contorno por el piso. 105
6.16.5. Número de barrenos de contorno por los lados. 106
6.16.6. Distancia entre los barrenos de contorno por los lados. 106
6.16.7. Número de barrenos de contorno por el techo. 106
6.16.8. Distancia entre los barrenos de contorno por el techo. 107
6.16.9. Masa de carga total por voladura. 107
6.16.10. Masa media de carga. 107
6.17. Gasto Específico de Sustancia Explosiva por Grupo de Barrenos 108
6.17.1. Carga de los barrenos de cuele. 108
6.17.2. Número de cartuchos de cuele. 108
6.17.3. Carga de los barrenos de arranque. 108
6.17.4. Número de cartuchos de arranque. 109
6.17.5. Carga de los barrenos de contorno. 109
6.17.1. Número de cartuchos de contorno 109
6.18. Saneamiento 111
6.19. Carga y Transporte 112
6.19.1. Capacidad de carro o vagoneta (Vc). 112
6.19.2. Transporte. 112
6.20. Iluminación 118
6.20.1. Cálculo del alumbrado por el método de lúmenes 118

6.20.2. Altura de las luminarias 119
6.20.3. Índice del local (k) 120
6.20.4. Coeficientes de reflexión 120
6.20.5. Factor de utilización (η, Cu) 121
6.20.6. Coeficiente de mantenimiento (C_m) o conservación de la instalación 122
6.20.7. Flujo luminoso total necesario 122
6.20.8. Número de luminarias (N) 123
6.20.9. Consumo de energía 124
6.20.10. Costo de consumo 125
6.20.11. Costo total de iluminación 125
6.21. Ventilación 126
6.21.1. Caudal necesario de aire 126
6.21.2. Cantidad de aire de acuerdo al gasto de sustancia explosiva 126
6.21.3. Cantidad de aire de acuerdo a la cantidad de personas 127
6.21.4. Ventilación de galería 127
6.21.5. Sistema de ventilación 128
6.22. Desagüe 134
6.23. Costos de Construcción de Galería 134
7. DISCUSIÓN 136
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
8.1. Conclusiones 137
8.2. Recomendaciones 138
9. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 139
ANEXOS 142
Anexo 1. 43
Anexo 2. 44
Anexo 3. Tablas de Valoración de la Q de Barton 45
Anexo 4. Cartografía Temática 49
Anexo 4.1. Mapa De Ubicación Y Acceso 50
Anexo 4.2. Mapa Topográfico Y De Geología Local 51
Anexo 4.3. Mapa De Labores Mineras Y Diseño De Galería De Transporte .. 52
Anexo 4.4. . Plano De Pasaporte De Perforación Y Voladura, Esquema De Carga De Barrenos Y Secuencia De Encendido. 53
Anexo 4.5. Plano De Sistema De Iluminación 54
Anexo 4.6. Plano de Sistema De Ventilación 55
Anexo 5. Fichas De Levantamiento Geológico 56

Anexo 6. Fichas Levantamiento Geotécnico 69
Anexo 7. Ensayo de Laboratorio 73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Calidad de la Roca según R.M.R. 38
Tabla 2. Hoja de recolección de datos para la Clasificación Geomecánica RMR 48
Tabla 3 Matriz de resumen para la Clasificación Geomecánica RMR 49
Tabla 4 Matriz de resumen para la Clasificación Geomecánica Q de Barton 50
Tabla 5 Coordenadas de la concesión. 54
Tabla 6. Resultados de ensayos de peso específico y peso volumétrico de las rocas extraídas 71
Tabla 7. Ensayos de compresión simple 71
Tabla 8. Resultados de la resistencia a la tracción de la roca 72
Tabla 9. Clasificación de las rocas según la fortaleza 73
Tabla 10 Datos de la estación geotécnica 1, según la clasificación RMR_{89} 75
Tabla 11 Datos de la estación geotécnica 2, según la clasificación RMR_{89} 76
Tabla 12 Datos de la estación geotécnica 3, según la clasificación RMR_{89} 77
Tabla 13 Datos de la estación geotécnica 4, según la clasificación RMR_{89} 78
Tabla 14 Datos de la estación geotécnica 5, según la clasificación RMR_{89} 79
Tabla 15 Datos de la estación geotécnica 1, según la clasificación Q de Barton 80
Tabla 16 Datos de la estación geotécnica 2, según la clasificación Q de Barton 81
Tabla 17 Datos de la estación geotécnica 3, según la clasificación Q de Barton 82
Tabla 18. Datos de la estación geotécnica 4, según la clasificación Q de Barton 83
Tabla 19. Datos de la estación geotécnica 5, según la clasificación Q de Barton 84
Tabla 20. Promedio de clasificación del macizo rocoso 84
Tabla 21 Parámetros de sección transversal 89
Tabla 22 Explogel I: Especificaciones técnicas 94
Tabla 23 Explogel I: Parámetros 94
Tabla 24. Mecha de seguridad: Presentación y embalaje 94
Tabla 25. Mecha de seguridad: Características técnicas 95
Tabla 26. Fulminantes: Características técnicas 95
Tabla 27 Magnitud de carga de sustancia explosiva. 96
Tabla 28 Coeficiente de estructura de la roca 97
Tabla 29 Coeficiente de capacidad de trabajo 97
Tabla 30 Consumo en pasaporte de perforación y voladura 110
Tabla 31 Factor de esponjamiento 113
Tabla 32 Número de personas por grupo de trabajo 114
Tabla 33 Factores de reflexión de techo, pared y piso 120
Tabla 34 Factor de utilización de luminarias 121
Tabla 35 Costo de materiales a utilizar en iluminación 125
Tabla 36 Costo de equipos y materiales de sistema de ventilación 134
Tabla 37 Gastos en sueldo de personal 134
Tabla 38 Cuadro de costo de arranque 135

Tabla 39 Cuadro total de costos 135
Tabla 40. Parámetros de Valoración del RMR de Bieniawski.....Anexo 1
Tabla 41. Sostenimiento según del RMR de Bieniawski .....Anexo 2
Tabla 42. Valores del índice de diaclasado (J_n) .....Anexo 3
Tabla 43. Valores de rugosidad de las discontinuidades (J_r).....Anexo 3
Tabla 44. Valores de alteración de las discontinuidades (J_a) .....Anexo 3
Tabla 45. Índice reductor por la presencia de agua (J_w).....Anexo 3
Tabla 46. Valores de reducción por tensiones (SRF).....Anexo 3

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructuras geológicas - Tipos de fallas. 9
Figura 2: Capilaridad 29
Figura 3: Probeta sometida a ensayo de resistencia uniaxial. 30
Figura 4: Gráfica del módulo de Young. 31
Figura 5: Materiales de campo y oficina útiles para la elaboración del proyecto. 41
Figura 6: Ficha empleada para la caracterización de afloramientos. 43
Figura 7: Mapa de Geología Regional 58
Figura 8: Mapa de Geología Local. 65
Figura 9: Geología interior mina Nivel 2..... 66
Figura 9: Bosquejo del cuerpo mineral y proyección del túnel. 85
Figura 10: Dimensiones generales del diseño del túnel. 86
Figura 11: Ciclo básico de ejecución de una galería. 88
Figura 12: Dimensiones de galería. 90
Figura 13: Ábaco para calcular gasto patrón de sustancia explosiva. 95
Figura 14: Esquema de carga. 99
Figura 15: Diagrama de pasaporte de voladura. 110
Figura 16: Secuencia de encendido. 111
Figura 17: Esquema de alturas del local. 119
Figura 18: Distribución de luminarias. 124
Figura 19: Ventilador helicoidal tubular. 129
Figura 20: Características técnicas de ventilador helicoidal tubular. 129
Figura 21: Diagrama de ventilación..... 132
Figura 22: Transformador reversible de 40 kva trifásico. 133

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Vía de tercer orden ingreso a la zona de estudio. En el fondo la población de San Gerardo. 55
Fotografía 2: Vía de tercer orden construida por el concesionario. 56
Fotografía 3: Afloramiento de andesitas meteorizadas. 63
Fotografía 4: Clasto semi redondeado de composición andesítica 64
Fotografía 5. Saprolito andesítico aflorando en la vía. 64
Fotografía 6 "Stockwork", vetillas de cuarzo, carbonatos y epidota dentro de las andesitas y basaltos que se encuentran con alteración propilítica, se observa en las paredes de las labores mineras. 70
Fotografía 7: Vetillas de bajo buzamiento y estranguladas por la presencia de fallamiento local. 70

1. Título

"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

2. Resumen

La minería se ha constituido en estos últimos años como uno de los sectores estratégicos para el desarrollo del país, apuntado a incrementar la economía producida en el sector minero. En la región sur del país, se localizan un sin número de yacimientos minerales metálicos, no metálicos y depósitos naturales de materiales de construcción (áridos y pétreos), los mismos que son explotados en ocasiones en formas anti técnicas perjudicando al entorno social-ambiental en el cual se desarrolla.

El distrito minero Ponce Enríquez se convierte en uno de los tres distritos más importantes del Ecuador, al igual que Nambija en la provincia de Zamora y Zaruma – Portovelo en la provincia de El Oro, esto ha conllevado a que exista una inversión importe en términos de tecnología y estudios que han permitido un desarrollo de esta industria en el sector.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente y por la necesidad de influenciar el desarrollo de la minería responsable en conjunto con el titular minero se ha propuesto el tema: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY", el área se encuentra en la fase de explotación, a través de un nivel denominado dos, el mismo que al momento cumple las funciones de galería principal de transporte, lo que para el nivel inferior complica en términos de productividad y eficiencia, de allí la necesidad de franquear una galería que cumpla con estas funciones y el mineral pueda ser transportado a la parte superior.

Summary

Mining has become in recent years as one of the strategic sectors for the development of the country, aimed at increasing the economy produced in the mining sector. In the southern region of the country, a number of metallic, non-metallic mineral deposits and natural deposits of construction materials (aggregates and stone) are located, which are sometimes exploited in anti-technical ways damaging the social-environmental environment in which develops.

The Ponce Enríquez mining district becomes one of the three most important districts in Ecuador, just like Nambija in the province of Zamora and Zaruma - Portovelo in the province of El Oro, this has led to an important investment in terms of technology and studies that have allowed a development of this industry in the sector.

In accordance with the above and due to the need to influence the development of responsible mining in conjunction with the mining owner, the theme has been proposed: "DESIGN OF A TRANSPORT GALLERY, WITH THE PURPOSE OF CONNECTING LEVEL TWO OF THE VETA ORO SOL EXPLOITATION BLOCK, WITH LEVEL ONE, OF THE RENACER M3 MINING AREA, CODE 101602, SAN GERARDO SECTOR, AZUAY PROVINCE", the area is in the exploitation phase, through a level called two, the same as at the moment it fulfills the functions of the main transport gallery, which for the lower level complicates in terms of productivity and efficiency, hence the need to cross a gallery that meets these functions and the mineral can be transported to the top.

3. Introducción

La minería se ha convertido en la actividad básica y principal del desarrollo económico y productivo no solo de la región Sur, sino también a nivel nacional e internacional, convirtiéndose en una actividad industrial que permite la obtención selectiva de minerales y otros materiales presentes en la corteza terrestre. Dentro de su proceso técnico existen varias fases: prospección, exploración, explotación, tratamiento y beneficio de los minerales; siendo estás una de las fases de mayor importancia de la actividad minera, puesto que en ella se obtiene el mineral valioso para su posterior comercialización.

En nuestro país se ha practicado desde tiempos preincaicos formándose varios centros mineros Nambija, Ponce Enríquez, Zaruma y Portovelo, destacándose que en los últimos años en estos sectores se ha podido observar la presencia de empresas y compañías que realizan esta actividad utilizando mejoras en lo que se refiere a tecnologías y administración.

La Asociación de Producción, Beneficio, Fundición, Refinación de Oro y otros Minerales **RENACER M3-GUENA II**, en su calidad de titular del área minera RENACER M3, **código** 101602; se constituye como una de las sociedades mineras que viene desarrollando actividades de exploración y explotación en el distrito minero Ponce Enríquez, con el fin de localizar y caracterizar estructuras minerales existentes. .

4. Revisión de Literatura

Terminología

Mena: Es el mineral cuya explotación presenta interés. En general, es un término que se refiere a minerales metálicos y que designa al mineral del que se extrae el elemento químico de interés.

Ganga: Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación.

Reservas: Cantidad (masa o volumen) de mineral susceptible de ser explotado. Depende de un gran número de factores: ley media, ley de corte (ver más abajo), y de las condiciones técnicas, medioambientales y de mercado existentes en el momento de llevar a cabo la explotación.

Ley media: Es la concentración que presenta el elemento químico de interés minero en el yacimiento. Se expresa como tantos por ciento, o como gramos por tonelada (g/t) (equivale a partes por millón, ppm) u onzas por tonelada (oz/t).

Ley de corte o cut-off: Es la concentración mínima que debe tener un elemento en un yacimiento para ser explotable, es decir, la concentración que hace posible pagar los costes de su extracción, tratamiento y comercialización.

Factor de concentración: Es el grado de enriquecimiento que tiene que presentar un elemento con respecto a su concentración normal para que resulte explotable.

Todo uno: Mezcla de ganga y mena que extrae de la mina o cantera, con un contenido o ley determinado, que hay que saber previamente (investigación de pre-explotación) y confirmar tras la explotación.

Todo uno marginal: Aquel producto de la explotación que tiene contenidos ligeramente por debajo de la ley de corte, y que no se suele acumular conjuntamente con el estéril.

Estéril: Corresponde a las rocas que no contienen mineral o lo contienen en cantidades muy por debajo de la ley de corte.

Explotación minera: Es el proceso o conjunto de procesos por el cual o cuales extraemos un material natural terrestre del que podemos obtener un beneficio económico: puede ser desde agua, hasta diamantes.

Subproductos (o by-products): Suelen ser minerales de interés económico, pero que no son el objeto principal de la explotación, si bien aumentan el valor económico de la producción (Díaz Prieto, 1995)).

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.

4.1.1. Topografía subterránea.

(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.

En principio los trabajos subterráneos siguen las mismas pautas que los realizados en el exterior, aunque con características especiales debidas a las condiciones mismas del trabajo bajo tierra. La falta de luz natural obliga a utilizar aparatos con iluminación interior así como a identificar puntos a observar. La topografía subterránea nos permitirá saber los límites de la galería en estudio y así poder guiarnos adecuadamente en la galería (Ingeniería Cartográfica Geodésica, s.f.).

Geología

La geología estudia la composición de la corteza terrestre, los fenómenos que en esta acaecen y las leyes físicas y químicas por las que se rigen.

La geología investiga la historia y la evolución de las actividades de la tierra desde los tiempos más remotos hasta el momento actual, la composición, disposición y origen de las rocas y los minerales que forman la corteza terrestre y los procesos que han dado lugar a su presente estructura (Diez, 2005).

La Geología se subdivide en diversas ramas particulares, en función de la diversidad de objetivos:

El estudio de las sustancias que constituyen la Tierra es cubierto por la Cristalografía, la Mineralogía y la Petrografía, de los procesos que se producen en el seno de la Tierra se ocupa la Geodinámica que puede dividirse en Geodinámica interna (Tectónica, Sismología, Vulcanología) y Geodinámica externa (Geomorfología, Hidrología, Glaciología, etc.);

La observación de la evolución terrestre a lo largo del tiempo es el campo de la Geología histórica y de la Paleogeología.

Finalmente, las aplicaciones prácticas de los recursos del subsuelo constituyen el dominio de la Geología económica (Mendívil, 2002).

La geología es el aspecto más importante a identificar ya que nos permitirá saber las condiciones geológicas existentes en nuestra área de estudio dándonos una idea de qué tipo de roca podremos encontrar en el lugar.

4.1.2. Geología estructural.

La geología estructural estudia la disposición de los materiales como resultado de la dinámica que tiene lugar en el interior de la corteza terrestre (Diez, 2005).

El comportamiento de los materiales de la corteza terrestre cuando actúan los fenómenos dinámicos internos depende de los siguientes factores:

- Presión.
- Temperatura.

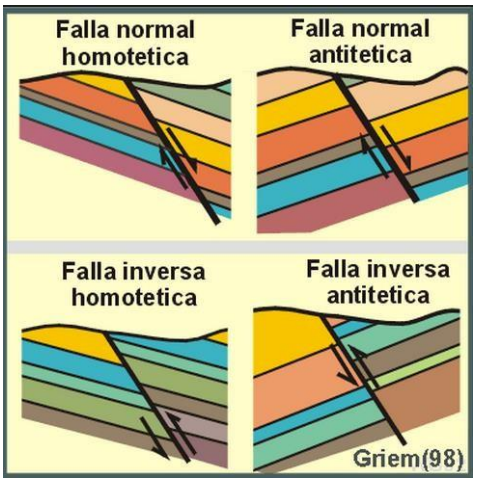


Figura 1: *Estructuras geológicas - Tipos de fallas.*

Fuente: *Geología Estructural Virtual - W. Griem (1999-2015).*

Las estructuras están relacionadas con todos los accidentes tectónicos, las cuales son originadas por movimientos epirogénicos y movimientos orogénicos. Otro factor que también determina o puede originar estructuras geológicas es el Diastrofismo, siendo esto el producto de la actividad volcánica y los movimientos sísmicos, esta se caracteriza por deformar igualmente las rocas, llegando a producir ondulamientos y plegamientos.

La geología estructural es la parte fundamental en el presente proyecto ya que nos permita conocer las estructuras geológicas existentes en la galería de estudio (Diez, 2005).

Yacimientos Minerales

Los procesos que llevan a la diferenciación de un magma, o a la formación de una roca sedimentaria o metamórfica implican en ocasiones transformaciones profundas químico-mineralógicas. Es durante el curso de esos procesos que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones "anómalas" que de aquí en adelante denominaremos "yacimientos minerales" (Lunar & Oyarzun,1991).

Conocer los tipos de yacimientos es de suma importancia así podremos identificar el tipo de yacimiento existente en nuestra área de estudio

4.1.3. Definición de yacimientos minerales.

Son procesos en el que algunos elementos o minerales pueden concentrarse selectivamente, muy por encima de sus valores "normales" para un tipo determinado de roca, dando origen concentraciones "anómalas" (Lunar & Oyarzun,1991).

4.1.2. Origen de los yacimientos minerales.

4.1.2.1. *Procesos ígneos.*

Plutonismo: Produce rocas industriales y minerales metálicos e industriales los denominado yacimientos ortomagmáticos, producto de la acumulación de minerales en cámaras magmáticas.

Volcanismo: Produce rocas industriales y minerales metálicos producto de la conjunción con procesos sedimentarios: yacimientos de tipo "sedex" o volcano-sedimentarios.

Procesos pegmatíticos: Pueden producir yacimientos de minerales metálicos (p.e., casiterita) e industriales: micas, cuarzo.

Procesos neumatolíticos e hidrotermales: Suelen dar origen a yacimientos de minerales metálicos muy variados, y de algunos minerales de interés industrial (Smirnov,1982).

4.1.2.2. *Procesos exógenos o superficiales.*

La erosión: es el proceso por el cual las rocas de la superficie de la Tierra, en contacto con la atmósfera y la hidrosfera, se rompen en fragmentos y sufren transformaciones físicas y químicas, que dan origen a fragmentos o clastos, y a sales, fundamentalmente. Las trasformaciones que implica la erosión pueden dar lugar a yacimientos, que reciben el nombre de yacimientos residuales.

El transporte de los clastos por las aguas y el viento, y de las sales por el agua, modifica la composición química tanto del área que sufre la erosión como del área a la que van a parar estos productos. Además, durante el propio transporte se producen procesos de cambio físicos y químicos, nuevas erosiones, depósito de parte de la carga transportada, etc.

La sedimentación detrítica da origen a rocas como las areniscas, y a minerales que podemos encontrar concentrados en éstas, en los yacimientos denominados de tipo placer: oro, casiterita, gemas...

La sedimentación química da origen a rocas de interés industrial, como las calizas, y a minerales industriales, como el yeso o las sales, fundamentalmente.

La sedimentación orgánica origina las rocas y minerales energéticos: carbón e hidrocarburos sólidos (bitúmenes, asfaltos), líquidos (petróleo) y gaseosos (gas natural). También origina otras rocas y minerales de interés industrial, como las fosforitas, o las diatomitas, entre otras.

Como ya se ha mencionado, la sedimentación asociada a los fenómenos volcánicos produce yacimientos de minerales metálicos de gran importancia (Smirnov, 1982).

4.1.3. Clasificación de los yacimientos según su génesis.

Un aspecto fundamental de cualquier estudio sistemático es la clasificación de los objetos del estudio. El principal problema que se plantea en cualquier clasificación de objetos naturales es fijar el o los criterios a seguir a la hora de

efectuar esta clasificación de forma que nos sea de utilidad práctica, y que permite un agrupamiento de los objetos de tipo unívoco, es decir, que el mismo objeto no entre más que en uno solo de los grupos que se establezcan. Por tanto, la clasificación que hemos adoptado aquí para el estudio de los yacimientos es en general, una clasificación genética, basada en la identificación del proceso geológico que ha dado origen a esa concentración de minerales. Estos procesos pueden ser englobados en dos grandes grupos:

Procesos exógenos, esto es, todos aquellos que tienen lugar por encima de la superficie terrestre, como consecuencia de la interacción entre las rocas y la atmósfera y la hidrosfera.

Procesos endógenos, o todos aquellos que tienen lugar por debajo de la superficie terrestre, como consecuencia de los procesos de liberación del calor interno del planeta, materializados en la Tectónica de Placas y procesos asociados, tales como el magmatismo y el metamorfismo. (Rodríguez, s.f.).

Esto conlleva a una clasificación basado en el criterio genético, estableciendo la relación existente entre el proceso geológico que formó la roca o mineral y su producto final.

El proceso generador sedimentario:

- La erosión y el transporte
- Sedimentación detrítica
- Sedimentación química y bioquímica
- Sedimentación orgánica

El proceso generador magmático:

- Plutonismo y subvolcanismo
- Volcanismo
- Metasomatismo
- Hidrotermalismo

(Guilbert & Park, 1986)

4.1.3.1. *Yacimientos hidrotermales.*

A medida que un magma se solidifica se van formando los minerales propios de las rocas ígneas (silicatos y óxidos) mientras las fases líquida y gaseosa de la mezcla se van enriqueciendo en agua con ciertos elementos y sustancias en solución (F, Cl, B, C02, S, Fe, Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, Ba, Ca, etc.

Estas fases son expulsadas del magma, principalmente durante su solidificación, a temperaturas de 400 a 800ºC y a considerable presión, produciendo efectos de metasomatismo y relleno en las rocas de caja.

El agua expulsada de su fuente magmática se desplaza, lateral o verticalmente, para llegar finalmente a la superficie donde aflora como fuente o manantial de agua termal.

Desde la profundidad magmática hasta la superficie el agua pierde temperatura y presión, perdiendo en consecuencia la mayor parte de su poder disolvente. Por ello, casi todas las sustancias disueltas en el agua precipitan “en el camino” originando concentraciones o depósitos minerales.

Los conductos por los cuales el agua se moviliza son, fundamentalmente, fallas y diaclasas, aunque localmente pueden tener importancia otros espacios abiertos como vesículas de lava, intersticios de sedimentos, cuevas de disolución y brechas de colapso y de explosión.

Las fallas y diaclasas no solamente sirven como conductos, sino que, a medida que transcurre el proceso, se van rellenando con las sustancias que precipitan.

En ciertas condiciones, y en especial cerca de la fuente magmática, las aguas calientes también pueden atacar a las rocas de caja, produciendo alteración, disolución y precipitación de nuevas sustancias en lugar de las disueltas (metasomatismo).

Cuando la mineralización ocurre en el inmediato contacto con la masa magmática. La concentración resultante se llama yacimiento "metasomático de contacto" o "piro- metasomático".

Si la mineralización se produce fuera de la zona de contacto, a medida que aumenta la distancia y disminuye la temperatura, los yacimientos resultantes se llaman "hipotermales", cuando se forman a más de 300ºC, mesotermales, cuando lo hacen entre 150 y 300ºC, y epitermales a menor temperatura. (Garcés, 1995)

Actividad Minera

Una de las actividades más antiguas realizadas por el hombre ha sido la minería, cuya evolución se ha producido de manera paralela a los avances de la humanidad.

Prácticamente todas las actividades de que disponemos en la actualidad, nos vienen dadas directa o indirectamente por esta práctica, como construcción de viviendas al utilizar hormigón, hierro, ladrillos, industria farmacéutica (caolín, talco, etc.), industrias petroquímicas, etc.

4.1.4. Fases de la minería.

4.1.4.1. *Prospección.*

Al principio se tiene como tarea el identificar la zona donde se ubica el yacimiento minero. Para ello se procede a realizar el cateo, que consiste en realizar búsquedas visuales de anomalías geológicas en la superficie, lo que puede dar indicios de presencia de minerales. Ya en la prospección, la observación se realiza con el apoyo de herramientas tecnológicas para realizar un trabajo más eficiente y rápido, como las fotos aéreas, datos satelitales, técnicas geofísicas (para observar propiedades físicas de las rocas analizadas) o geoquímicas (para obtener resultados químicos de los materiales observados).

Los geólogos hacen uso de alta tecnología para realizar las exploraciones. Para ello, se estudia el terreno, las rocas, su composición química y su abundancia, de forma que se pueda saber si es que se puede construir una mina. En base a los resultados del cateo y la prospección, se elige el área para un estudio más detallado, que permita comprobar la existencia de minerales. (Exploradores, s.f.).

La prospección comienza con la definición de los tipos de blancos a buscar. Con esa información, se buscan las similitudes y características especiales que ese

tipo de yacimiento presenta. Esta información permite desechar muchas áreas y concentrar esfuerzos en aquellas que presentan características favorables para ese tipo de yacimiento.

4.1.4.2. *Exploración.*

Si bien todas las etapas del ciclo de vida de una mina son importantes, la exploración tiene un papel más significativo, en tanto que los estudios que en ese momento se realizan permiten determinar la magnitud (reserva) y calidad (ley) del mineral que se encuentra en el yacimiento.

Para ello se realizan estudios más detallados sobre el yacimiento, incluyendo perforaciones, muestreos, análisis del contenido y tipo de mineral, entre otros, buscando definir si el mineral es recuperable y a qué costo. Así, la exploración y los estudios más detallados ayudan a determinar si es viable económicamente la explotación de un yacimiento.

4.1.4.3. *Explotación minera.*

La explotación de un yacimiento minero supone la existencia de una concentración de un mineral, elemento o roca con suficiente valor económico como para sustentar esta explotación minera con un beneficio industrial para la empresa. Para que esto se produzca, se ha de cumplir la ecuación:

$$Valor\ Producción = Costes + Beneficios$$

El valor de la producción se obtiene mediante la valoración económica del yacimiento, de acuerdo con los datos del estudio de investigación minera, y, por

tanto, dependen de la naturaleza y características de la mineralización, que serán unas determinadas.

De forma que, para poder cumplir con esta condición, tenemos que analizar los costes que implica la explotación minera del yacimiento. (Annels A., 1991).

4.1.5. Sistemas de explotación minera.

Las minas pueden ser divididas siguiendo varios criterios. El más amplio tiene en cuenta si las labores se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, dividiéndolas, respectivamente, en minas a cielo abierto y en minas subterráneas. (Sonami, 2012).

4.1.5.1. *Explotación a cielo abierto.*

Se llaman minas a cielo abierto, y también minas a tajo (o rajo) abierto, a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de las subterráneas, que se desarrollan bajo ella. (Vidal, 1998).

Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar, con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Estos materiales se denominan, genéricamente, estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral. El estéril excavado es necesario apilarlo en escombreras fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina una vez terminada su explotación.

Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en superficie, se encuentran cerca de la superficie, con un

recubrimiento pequeño o la competencia del terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos. (Rodríguez, 2009)

4.1.5.2. *Explotación subterránea.*

Son aquellas que se construyen totalmente en el interior de la corteza terrestre o que el área del lado en contacto con la superficie terrestre es insignificante en relación con el área de sus otros lados.

Excavaciones Mineras

El hombre, a fin de extraer los diversos minerales necesarios para la satisfacción de sus necesidades tiene que penetrar, de una forma u otra, en la corteza terrestre , y por tanto podemos decir que una mina es una secuencia de distintas excavaciones mineras que el hombre construye para, a través de ellas, penetrar en la corteza terrestre, conducir herramientas, materiales, energía, aire fresco, agua y conducir a la superficie los minerales, eliminar el aire viciado y evacuar el agua que entorpece el trabajo.

Las fases de extracción que se realizan para la extracción del mineral son:

Excavaciones de apertura.- Son aquellas que están destinadas a unir la superficie terrestre con el yacimiento y a través de las cuales se realiza la entrada y salida del personal y las cargas.

Excavaciones preparatorias.- Son aquellas que están destinadas a preparar una parte del yacimiento para su explotación.

Excavaciones de corte.- Son aquellas que están destinadas a preparar una pequeña parte del yacimiento para su arranque masivo.

Excavaciones de arranque.- Son aquellas que se forman dentro de los límites proyectados como consecuencia de la extracción del cuerpo mineral.

Al inicio de las excavaciones, tanto si comienzan en la superficie o en otra excavación minera, se le llama boca mina. La superficie que limita la excavación y se traslada como resultado de la realización de los trabajos mineros, se llama frente (Blanco, 1988).

4.1.6. Excavaciones mineras subterráneas verticales.

Pozo vertical es una excavación subterránea con salida directa a la superficie, destinada a servir los trabajos subterráneos. En dependencia del uso se distinguen los pozos principales auxiliares y de ventilación. Los pozos principales sirven para el ascenso del mineral y las rocas a la superficie, los auxiliares para la entrada y salida de las personas, los materiales, los equipos, etc. y los de ventilación para alimentar aire fresco a la mina y extraer el aire viciado.

Pozo ciego es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie y está destinada a las mismas funciones que los pozos, pero en el interior de la mina, es decir, entre diferentes horizontes de esta.

Pozo criollo es una excavación subterránea que tiene salida directa a la superficie destinada a la exploración del yacimiento o para colocar cargas

explosivas. Su profundidad generalmente es pequeña, de 10-30 m y su sección transversal de 1-1,5 m^2.

Contra Pozo es una excavación subterránea vertical (o inclinada) que no tiene salida directa a la superficie, destinada a bajar cargas, transportar equipos, materiales y herramientas para el tránsito de personal para el desagüe para la ventilación y para la preparación de los bloques.

Coladero es una excavación subterránea vertical (o inclinada) que generalmente no tiene salida directa a la superficie y está destinada a bajar minerales y rocas por gravedad.

Piquera es una excavación subterránea que tiene salida directa a la superficie y está destinada a bajar por ella mineral por gravedad desde donde se carga directamente a los medios de transporte para lo cual su extremo inferior se equipa con una escotilla accionando manual, mecánica, hidráulica o neumáticamente. Las piqueras pueden adoptar diferentes formas constructivas.

Galería transversal es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie, une el pozo con el yacimiento y está destinada a tránsito del personal, al traslado de cargas y a la ventilación.

Galería de mina es una excavación subterránea que no tiene salida directa a la superficie, se laborea según el rumbo del yacimiento.

En los yacimientos horizontales las galerías de mina se laborean en cualquier dirección y reciben el nombre de galerías maestras.

Recorte es una excavación horizontal que se laborea dentro del cuerpo mineral destinada a realizar los trabajos de corte o para la ventilación de las excavaciones preparatorias durante su laboreo.

Crucero es una excavación que no tiene salida directa a la superficie y que se laborea transversalmente al yacimiento. Está destinada a la organización del transporte y a la exploración.

Socavón es una excavación subterránea horizontal que tiene salida directa a la superficie destinada a servir los trabajos subterráneos: transporte de cargas movimiento de personal ventilación y desagüe. Los socavones sólo se pueden laborear en los terrenos con relieve montañoso.

Pozo inclinado es una excavación subterránea con salida directa a la superficie, destinada a servir los trabajos subterráneos. En dependencia del uso, al igual que los pozos verticales, se distinguen los pozos principales, auxiliares y de ventilación.

Pendiente es una excavación que no tiene salida directa a la superficie y se laborea por el buzamiento del cuerpo de abajo hacia arriba, destinada al descenso de cargas con medios mecánicos.

Rampa es una excavación que no tiene salida directa a la superficie y se laborea por el buzamiento del cuerpo de arriba hacia abajo, destinada al ascenso de cargas con medios mecánicos.

Saber cómo se encuentra estructurada la mina es muy importante así tendremos una idea de donde nos encontramos al momento de realizar el estudio geológico estructural (Blanco,1988).

Propiedades Físico Mecánicas de las rocas

Para la descripción e identificación cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas se usan los llamados propiedades índices (Fernández, 2014).

4.1.7. Propiedades índice.

Se dividen en dos:

Propiedades de identificación y clasificación:

- Composición mineralógica
- Fábrica y textura
- Tamaño del grano
- Color
- Porosidad
- Permeabilidad
- Durabilidad
- Alterabilidad

Propiedades mecánicas:

- Resistencia a la compresión simple
- Resistencia a la tracción

- Velocidad de las ondas sísmicas
- Resistencia
- Deformabilidad

Algunas de estas propiedades, además de servir para su clasificación, están directamente relacionadas con las características resistentes y deformacionales de las rocas (Fernández, 2014).

4.1.8. Propiedades físicas.

4.1.8.1. *Porosidad*

Se refiere a la medida del espacio intersticial entre grano y grano, la cual representa la relación entre el volumen poroso y el volumen total de la roca. (Oyanguren & Alejano Monge, 2004).

$$n = \frac{Vp}{V} * 100 \qquad (1)$$

Donde:

n = Porosidad

Vp = Volumen de poros

V = Volumen Total

4.1.8.2. *Porosidad eficaz.*

(Oyanguren & Alejano Monge, 2004). Es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra. Puede obtenerse a partir del peso seco y saturado de la muestra.

$$n_e = \frac{(W_{sat} - W_{seco})}{(\gamma_w V)} \qquad (2)$$

En las rocas es frecuente que los poros no estén interconectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz. El índice de poros se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos V_v, y el volumen ocupado por las partículas sólidas $\boldsymbol{V_{sol}}$.

$$e = \frac{(V_v)}{(V_{sol})} \qquad (3)$$

4.1.8.3. *Peso específico o peso unitario.*

(Oyanguren & Alejano Monge, 2004) La densidad es la relación entre la masa y el volumen de la sustancia, midiéndose en unidades de masa/unidades de volumen (e.g., g/cc). El peso específico es la relación numérica entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de agua a 4°C, esto es la relación entre las densidades del cuerpo y la del agua. Esta propiedad es adimensional (no se expresa en términos de unidades determinadas) ya que es la relación entre dos cantidades con la misma dimensión. Dado que el volumen del agua varía con la temperatura, se toma como referencia la densidad del agua a 4°C.

4.1.8.4. *Humedad*

(Oyangüren, 1984) Es la relación expresada en porcentaje entre la masa del agua contenida en la roca que se a 110°c de temperatura y la masa de la muestra seca.

$$H = \frac{m_h}{m_s} * 100 \quad (4)$$

Donde:

H = Porcentaje de humedad

m_h = Masa de agua contenida en la muestra

m_s = Masa de roca seca

4.1.8.5. *Adsorción y absorción de agua.*

(Oyanguren & Alejano Monge, 2004) Estas propiedades se relacionan con la movilidad de vapor de agua o agua líquida en los materiales, esto es con la permeabilidad del medio a estas sustancias:

Adsorción es la adhesión de moléculas de gases o de moléculas en solución a las superficies de los cuerpos sólidos con los que están en contacto. La higroscopicidad es la propiedad de los materiales de adsorber vapor de agua de la atmósfera.

Absorción es la incorporación o asimilación de líquidos en el interior del sistema poroso del material. La succión de agua es la propiedad de los materiales de absorber agua líquida en contacto con los mismos.

4.1.8.6. *Desorción de agua.*

(Fernández, 2014). Los materiales localizados en contacto con el aire retienen cierta cantidad de humedad. La cantidad de agua retenida es función de las condiciones ambientas (temperatura y humedad relativa), así como de la naturaleza de las sustancias (hidrófilas o hidrófobas) y de la composición de la solución acuosa (agua pura vs. soluciones salinas). Si las condiciones ambientales cambian, por ejemplo, descendiendo la humedad relativa, el material tiende a ceder vapor de agua al medio aéreo, secándose.

Este proceso de desorción de agua es inverso al de adsorción, aunque si la muestra se encuentra saturada en agua, es inverso al de absorción.

La tasa de desorción o secado depende de la diferencia entre la humedad del material y la del medio ambiente (a mayor diferencia, mayor tasa de secado), de la naturaleza del material y de la naturaleza de la porosidad (sustancias hidrorepelentes con poros grandes tienden a eliminar más rápidamente la humedad) (Fernández, 2014).

$$W_e = \frac{M_t - M_o}{M_o} * 100 \qquad (5)$$

Donde:

W_e = Cantidad de agua perdida (%).

M_t = Masa medida en el tiempo (Kg).

M_o = Peso de la muestra saturada en agua (Kg).

4.1.8.7. *Grado de saturación.*

Porcentaje de poros ocupado por el agua. Roca seca Sr = 0; Roca saturada Sr = 1.

$$S_r = \frac{V_H}{V_p} * 100 \qquad (6)$$

Donde:

S_r = Grado de saturación.

V_H = Volumen ocupado por el agua.

V_p = Volumen total de poros.

4.1.8.8. *Capilaridad*

El fenómeno de la capilaridad, cuyo resultado es el movimiento ascendente o descendente de un líquido en el interior de un tubo fino de un material sólido cuando éste es sumergido en el líquido, es debido a la existencia de fuerzas en la superficie de las sustancias sólida (e.g., vidrio), líquida (e.g., agua) y gaseosa (e.g., aire) en contacto. Estas fuerzas se denominan de tensión superficial. La conjunción de estas fuerzas hace que las gotas de un líquido depositadas sobre la superficie de un material sólido presenten ángulos de contacto sólido-líquido variados en función de la naturaleza de los sólidos y líquidos (Fernández, 2014).

La altura a la que asciende (o desciende) un líquido en un capilar no es sólo función del ángulo de contacto, sino que depende también del radio del capilar. La ecuación que permite calcular la altura alcanzada es:

$$h = \frac{2 * S_{LV} * Cos\theta}{p * g * r} \quad (7)$$

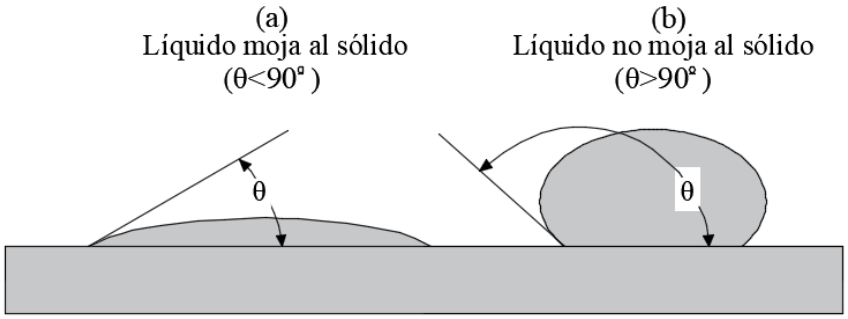


Figura 2: *Capilaridad*

Fuente: *Fernández, J. F. (2014).*

4.1.9. Propiedades mecánicas de las rocas.

4.1.9.1. *Resistencia a la compresión simple.*

(Oyanguren & Alejano Monge, 2004) Es llamada también resistencia uniaxial y se define como el esfuerzo máximo que soporta la roca sometida comprensión uniaxial, la cual se determina a través de una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio.

Este ensayo permite determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca. La relación entre los esfuerzos aplicados en los ensayos son los siguientes:

$$\sigma \neq 0; \sigma 2 = \sigma 3 = 0 \quad (8)$$

En el ensayo se deben cumplir las siguientes condiciones:

- Razón largo/ancho de la probeta debe ser: 2.5 a 3.
- Extremos deben ser paralelos y pulidos, sin grietas.
- Ancho de la probeta debe ser > 10 veces el tamaño medio del grano.

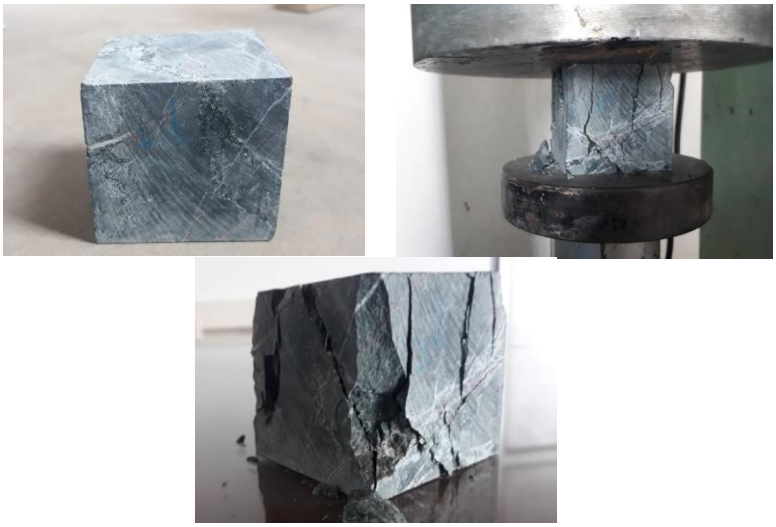


Figura 3: *Probeta sometida a ensayo de resistencia uniaxial.*

Fuente: *El autor.*

4.1.9.2. *Ensayo de compresión triaxial.*

(Oyanguren & Alejano Monge, 2004). El ensayo representa las condiciones de la roca in situ sometidos a esfuerzos confinantes, mediante la aplicación de presión hidráulica uniforme alrededor de la probeta. Permite la envolvente o línea de resistencia del material rocoso mediante parámetros como: cohesión y ángulo de fricción. La relación entre los esfuerzos aplicados es:

$$\sigma 1 > \sigma 2 = \sigma 3 \neq 0 \qquad (9)$$

4.1.9.3. *Deformabilidad.*

Es la propiedad que tiene la roca para alterar su forma como respuesta a la actuación de fuerzas. La deformidad de las rocas se expresa por sus constantes E (Modulo de Young) y v (Coeficiente de Poisson) que se obtienen en el ensayo de comprensión simple.

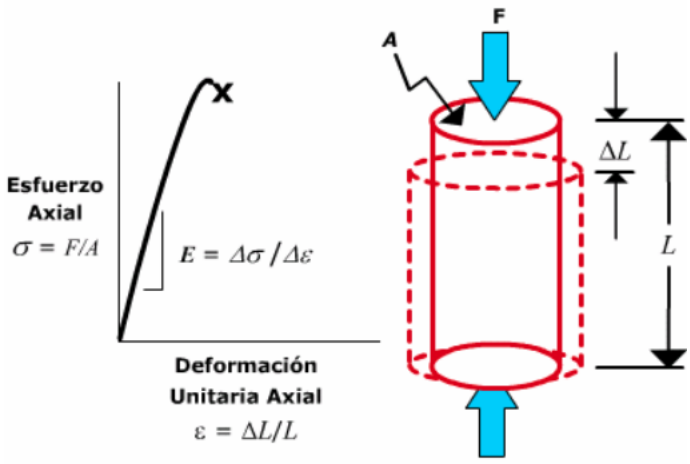


Figura 4: *Gráfica del módulo de Young.*

Fuente: *Fernández, J. F. (2014).*

Caracterización del Macizo Rocoso

La caracterización de un macizo rocoso viene a constituir la fase inicial en todo estudio geológico- geotécnico, y está basado en la descripción de las características particulares que influyen en el comportamiento mecánico del macizo, para hacer frente a los procesos de excavación ya sea a cielo abierto o subterráneo. La caracterización de macizos está fundamentada en la descripción de afloramientos y sondajes de perforación, acoladas a ensayos y medidas adicionales de laboratorio.

4.1.10. Terminología de las características de los macizos rocosos.

4.1.10.1. *Matriz rocosa.*

Comprende el material rocoso que no tiene discontinuidades o libre de diaclasamiento, el bloque lo conforman de roca intacta entre ellas. La matriz rocosa a pesar de ser continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su

matriz y a su microestructura mineral. Para la caracterización mecánica se determina por el peso específico, resistencia y deformabilidad.

4.1.11. 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).

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.

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).

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

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. (Gavilanes y Andrade, 2004).

4.1.11.1. *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)

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; este ángulo adquiere valores de 0° a 90°" (Camargo, 2004).

"Inclinación: ángulo vertical medido entre la horizontal y un plano inclinado; este ángulo se mide hacia abajo y varía entre 0° y 90°" (Camargo, 2004).

"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).

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).

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

Espaciado

El espaciamiento 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.

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

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.

4.1.11.2. *Formas de rotura en taludes rocosos*

Roturas planas, "plane", según juntas predominantes y/o continuas que según juntas predominantes y/o continuas que buzan hacia el talud.

Roturas en cuña, "wedge", dos juntas de diferentes familias cuya intersección buce hacia el talud.

Roturas por vuelco, "topp g lin", según una familia de juntas predominantes y/o continuas que buzan contra el talud y cuyo rumbo es casi paralelo al de la cara del talud.

Roturas globales (tipo suelo) según superficies que pueden desarrollarse parcialmente a lo largo de juntas parcialmente a lo largo de juntas.

4.1.12. 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)

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).

4.1.12.1. *Clasificación de Bieniawski (R.M.R.)*

Se valora una serie de parámetros:

• Resistencia del material intacto valor máximo = 15 (ensayo carga puntual o compresión simple).

• R.Q.D. valor máximo = 20.

• Distancia entre las discontinuidades Distancia entre las discontinuidades valor máximo valor máximo = 20.

• Condición de las discontinuidades valor máximo = 30.

• Agua subterránea valor máximo = 15.

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \quad (10)$$

(Bieniawski, 1989)

Tabla 1 *Calidad de la Roca según R.M.R.*

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

Fuente: *Bieniawski, 1989.*

La caracterización del macizo según la clasificación de Bieniawski nos permitirá saber si nuestra galería en estudio se encuentra en condiciones favorables o habrá que realizar un sostenimiento de la misma para que se dé una seguridad a las personas que laboran en la misma (Gonzales de Vallejo, 2002).

Entre los diferentes criterios de clasificación geomecánica existen relaciones matemáticas para su correlación. Por ejemplo, el RMR de Bieniawski (1989) está correlacionado al Q (índice de calidad de la masa rocosa) de Barton (1974), por la expresión RMR = 9 lnQ + 44. Por otro lado, el RMR de Bieniawski (1989) está correlacionado al GSI de Hoek y Marinos (2000), por la expresión GSI = RMR - 5, para el caso RMR > 23 y considerando condiciones secas.

4.1.12.2. *Clasificación Q de Barton*

La clasificación Q de Barton es una de las clasificaciones geomecánicas más utilizadas en los macizos rocosos junto con la clasificación RMR de Bieniawski.

Ambas son muy utilizadas, no obstante, el RMR normalmente se emplea más como índice geomecánico para la evaluación de las propiedades de los macizos rocosos mientras que el índice Q se emplea mayoritariamente en la evaluación del sostenimiento de túneles mediante bulones, cerchas, hormigón proyectado, etc. (*Barton, Lien, & Luden, 1974).*

Esta clasificación geomecánica permite estimar parámetros geotécnicos del macizo rocoso y lo que es más importante diseñar sostenimientos para túneles y otras excavaciones subterráneas. (*Barton, Lien, & Luden, 1974).*

El índice Q varía entre 0,001 y 1000 clasificándose el macizo rocoso como (Barton, Lien, & Luden, 1974).

- 0,00 y 0,01: Roca excepcionalmente mala
- 0,01 y 0,1: Roca extremadamente mala
- 0,1 y 1: Roca muy mala
- 1 y 4: Roca mala
- 4 y 10: Roca media
- 10 y 40: Roca buena
- 40 y 100: Roca muy buena
- 100 y 400: Roca extremadamente buena
- 400 y 1.000: Roca excepcionalmente buena

Se calcula mediante 6 parámetros geotécnicos según la siguiente expresión:

$$Q = (RQD/Jn) \cdot (Jr/Ja) \cdot (Jw/SRF) \qquad (11)$$

Los tres términos de la expresión de la Q de Barton representan lo siguiente:

(RQD/Jn): Tamaño de los bloques

(Jr/Ja): la resistencia al corte entre los bloques

(Jw/SRF): influencia del estado tensional

A partir de la puntuación obtenida en cada bloque podremos conocer que término tiene mayor o menor peso en la evaluación del índice Q y por tanto su influencia en la calidad del macizo rocoso. (*Barton, Lien, & Luden, 1974).*

4.1.13. Laboreo de excavaciones horizontales.

Una excavación subterránea es una estructura de gran complejidad y las únicas herramientas que dispone el proyectista para ayudarse en su empresa son unos modelos extraordinariamente simplificados sobre algunos de los fenómenos que se conjugan para lograr la estabilidad de la excavación. A la hora de entrar a elegir el método de laboreo de las excavaciones horizontales hay que tener en cuenta una serie de factores entre los cuales los principales son: propiedades físico mecánicas de las rocas a través de las cuales se va a realizar la excavación, dimensiones de la sección de la excavación, su destino, vida de servicio que se planifica. En dependencia de la estabilidad de las rocas y de las condiciones hidrogeológicas existentes, hay dos métodos básicos para el laboreo de las excavaciones horizontales. (Blanco Torrens,1988).

5. Materiales y Métodos.

En el siguiente recuadro se detallan los materiales necesarios para el desarrollo y elaboración del proyecto de tesis.

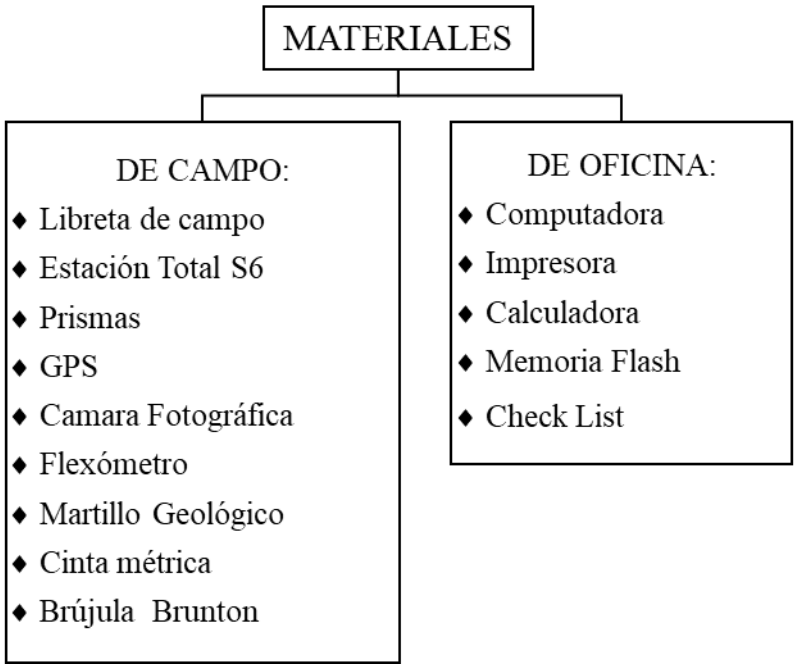


Figura 5: *Materiales de campo y oficina útiles para la elaboración del proyecto.*

Fuente: *El autor.*

Metodología

Para lograr cumplir con el objetivo principal planteado en el proyecto, se ha considerado tres objetivos específicos, para los cuales es necesario definir sus respectivas metodologías:

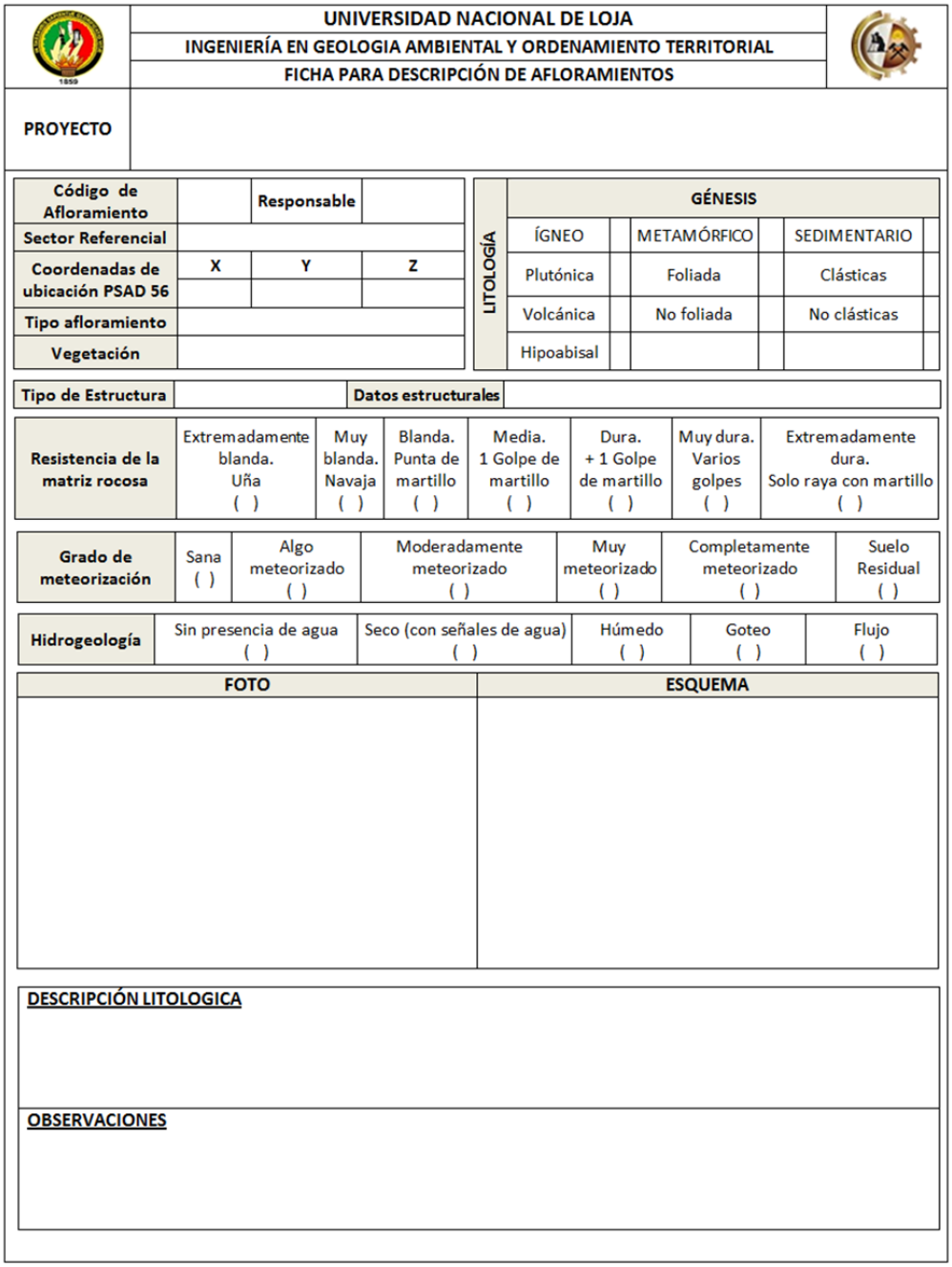
Primer objetivo

Levantamiento topográfico y geológico del área de explotación y caracterizar el material existente en el depósito mediante la aplicación del levantamiento topográfico y mapeo geológico. (Ver *Mapa 2/4*)

Trabajo de campo

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó las visitas técnicas al lugar de estudio con ayuda de instrumentos específicos como son: cinta métrica, flexómetro, Estación Total y GPS, así como la colaboración de dos cadeneros para poder realizar el levantamiento topográfico de interior de mina; obteniendo un plano a escala 1: 1.000.

La geología superficial, se realizó mediante la inspección técnica, tomando datos estructurales y características de las rocas presentes, haciendo una breve descripción macroscópica, para ello se empleará la ficha que se muestra en la ***Figura 6***.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	

Código de Afloramiento		**Responsable**	
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
Tipo afloramiento			
Vegetación			

LITOLOGÍA	**GÉNESIS**		
	ÍGNEO	METAMÓRFICO	SEDIMENTARIO
	Plutónica	Foliada	Clásticas
	Volcánica	No foliada	No clásticas
	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**

DESCRIPCIÓN LITOLOGICA

OBSERVACIONES

Figura 6: *Ficha empleada para la caracterización de afloramientos.*

Fuente: *González de Vallejo et al., Valarezo M., y Medina J.*

La Identificación y delimitación de las diferentes litologías en la galería principal de transporte de la mina (Nivel 2). Se tomarán dos muestras una en estéril la toma de las muestras se realizó mediante el empleo de un cincel y un combo en los puntos más representativos, tratando de obtener una muestra con el menor grado de alteración posible. De ellas se analizó:

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

Trabajo de Gabinete

La topografía superficial, debido a la complejidad del área de estudio fue derivada de modelos digitales de elevación a escala de detalle, efectuando el debido control de calidad de las curvas de nivel, mediante reglas topológicas, obteniendo finalmente un plano a escala 1: 5.000.

Inicialmente se recopiló 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-mesotermales 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 del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento

Territorial del cantón Camilo Ponce Enríquez, fase de actualización 2014 – 2015, y otras fuentes que se podrían encontrar relacionadas a información del sector.

En esta fase se prepararán los diferentes formatos empleados en la descripción de afloramientos y caracterización del macizo rocoso en subterráneo.

Segundo Objetivo

Caracterización geomecánica de los procesos y actividades actuales de explotación de oro en el nivel superior de la veta Oro Sol.

Trabajo de campo

En esta fase, se procedió a realizar el levantamiento estructural y geomecánico, realizándose un recorrido y reconocimiento de la galería principal de transporte de la mina (Nivel 2) y su división en zonas para la caracterización geomecánica, Gavilanes y Andrade (2004) pp 19.

Se dividió la galería principal de transporte en diferentes tramos para la caracterización del macizo rocoso, estos tramos serán equidistantes abarcando datos estructurales y/o geomecánicas que presente el macizo.

En cada tramo se realizó toma de los datos estructurales empleando la notación Dip/Dip Direction (Buzamiento/Dirección de buzamiento).

En cuanto a la caracterización geomecánica se efectuó a través del RMR_{89} de Bieniawski que se calcula mediante una sumatoria de parámetros menos el factor de corrección, y el Índice Q de Barton, que al igual que la clasificación anterior emplea parámetros para la valoración en campo y luego los datos recolectados son calculados a través de una ecuación: en la *Tabla 2*, se detalla el formato de campo para el RMR y en el *Anexo 3* se presenta las tablas de valoración de la Q de Barton.

El RQD (Designación de la calidad de las Rocas), empleado en ambas metodologías de clasificación geomecánicas, fue calculado a través de la ecuación de Deere (1963), modificada por Palmstrom (2005), y aplicada a sitios donde no se posea datos de perforación. La ecuación aplicada fue la siguiente.

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv$$

Donde Jv: es el número de diaclasas encontradas por metro lineal, es decir la sumatoria de cada uno de los set de discontinuidades.

El valor obtenido de Jv, es introducido en la fórmula original del RQD, y su resultado es comparado con tablas establecidas por cada una de las clasificaciones geomecánicas (RMR y Q de Barton), que asignan una valoración de acuerdo al porcentaje RQD.

***Tabla 2**. Hoja de recolección de datos para la Clasificación Geomecánica RMR*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca:
Realizado por:
Sitio de Observaciones:

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50		.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo		Buzamiento		T. Discont.
Sistema 2	Rumbo		Buzamiento		T. Discont.
Sistema 3	Rumbo		Buzamiento		T. Discont.

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m			
Moderado	0.20 a 0.60 m			
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DE AGUA

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Flujo por 10 m de longitud únel	CONDICIONES GENERALES			
	Seco			
	Húmedo			
Presión de Agua	Mojado			
	Goteo			
	Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m			
Baja	1 - 3 m			
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm			
Moderada	0.5 - 2.5 mm			
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas				
Rugosas				
Ligeramente Rugosas				
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave			
Espesor	>5mm o < 5mm			
Resistencia compresión simple				
Flujo				
ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES				
Fresca				
Ligeramente alterada				
Moderada				
Fuerte				
Descompuesta				

OBSERVACIONES:

***Fuente:** Introducción a la ingeniería de túneles, caracterización, clasificación y análisis geomecánico de macizos rocosos. (Gavilanes H., Andrade B., 2004)*

Trabajo de oficina

Una vez obtenidos los datos de campo, se procederá al análisis de los mismos y a la respectiva categorización del macizo rocoso según las clasificaciones geomecánicas empleadas (RMR_{89} de Bieniawski y la Q de Barton), para ello se ha preparado una matriz de resumen, para el caso del RMR consta de seis parámetros: resistencia a la compresión simple, RQD, espaciado de diaclasa, estado de diaclasas, agua subterránea y el factor de corrección por orientación de las juntas.

Tabla 3 *Matriz de resumen para la Clasificación Geomecánica RMR*

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:			**Ubicación:**		**Litología:**	
Abscisa:						
Proyecto:						
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión					
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv		Jv =			
3	Espaciado de las diaclasas (m)					
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia				
		Abertura (mm)				
		Rugosidad				
		Relleno (mm)				
		Alteración				
5	Agua subterránea					
6	Corrección por orientación					
					RMR 89 = RMR básico - 6*	

Fuente: *El Autor.*

En el caso de la Q de Barton, se consideró el: RQD, número de juntas, índice de rugosidad de las juntas, índice de alteración, factor de reducción por presencia de agua y el factor de reducción de esfuerzos, cabe mencionar que esta clasificación no toma en cuenta la RCS y el ajuste por orientación de discontinuidades.

Tabla 4 *Matriz de resumen para la Clasificación Geomecánica Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: Tipo de Roca: Sitio de Observación:	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
RQD = 115 - 3.3 Jv	
Número de familias de juntas (Jn)	
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	

Fuente: *El Autor.*

Tercer objetivo

Diseño de las labores mineras para comunicar los niveles de explotación de la veta oro sol.

Trabajo de oficina

Bajo el conocimiento geológicos mineros de la veta se propondrá los parámetros de franqueo, perforación y voladura, iluminación, ventilación, carga y transporte del material volado, labores secundarias.

Utilizando la información existente con respecto a túneles y galerías se realizó el diseño de la galería de transporte, la cual está enfocada específicamente para optimizar el transporte de mineral. Para el diseño se tomará en cuenta diversos parámetros como: datos preliminares de diseño (orientación y buzamiento del cuerpo mineral, ubicación y rumbo de galería proyectada), dimensionamiento de la galería, propiedades del macizo rocoso, elección de la forma de sección del túnel.

Para el franqueo con perforación y voladura se utilizará el Método Suizo o Bernold, el cual en su aplicación ideal se debe colocar el sostenimiento justo después de haber excavado el túnel; para esto se complementará con clasificaciones geomecánicas que permita establecer el tipo de macizo rocoso y emplear el método de sostenimiento adecuado.

Dentro del proceso de diseño se deberá determinar el tipo de S.E. y sus complementos, calcular el gasto específico de S.E. en función al tipo de roca, cálculo de la carga total de S.E., número de barrenos en el frente, profundidad y distribución de los

barrenos, elección del tipo de cuele, distancia entre los barrenos, gasto real de S.E. por voladura. Con estos parámetros definidos, se procederá a diseñar el pasaporte de perforación y voladura y el consumo del mismo en cada cuña, aspectos importantes que permitirá establecer el método de encendido.

Como parte del proceso de diseño se debe establecer un sistema de carga y transporte, el cual debe contemplar parámetros como: capacidad de carro o vagoneta, volumen de arranque por ciclo (cuña), número de vagones a emplear, ciclo de trabajo y el tiempo de duración por ciclo de trabajo.

El factor iluminación es importante en toda labor minera subterránea, para esto se empleará el "Cálculo de alumbrado por el método de lúmenes", el cual considera coeficientes de reflexión, factor de utilización, coeficiente de mantenimiento, flujo luminoso necesario, número de luminarias, consumo de energía y costo de consumo.

Otro aspecto de vital importancia en minería subterránea es el desagüe y la ventilación; para este proyecto se ha elegido un sistema de ventilación mecánica helicoidal que permitirá extraer los gases de las voladuras por medio de un ducto y rellenar el área de trabajo de aire limpio, los factores valorados para el sistema de ventilación son los siguientes: Cantidad de aire de acuerdo al gasto de S.E., cantidad de aire de acuerdo a la cantidad de personas, caudal de aire, tiempo estimado de ventilación, consumo de ventilación mecánica, costo de ventilación.

6. Resultados

Datos Generales

Nombre del Área:	Renacer M3.
Código:	101602
Superficie Concesionada:	974 hectáreas mineras.
Nombre o razón social del titular:	Asociación de producción, beneficio, fundición, refinación, comercialización de oro y otros minerales RENACER M3 – GUENA II.
Representante Legal:	Ing. Alberto Salazar.
Arcom:	Azuay.
Dirección actualizada del titular:	Machala (Avenida Napoleón Mera y Guabo.
Teléfono:	2932661

6.1. Ubicación y Acceso

6.1.1. Situación geográfica político administrativa.

Provincia:	Azuay
Cantón:	Ponce Enríquez
Parroquia:	Ponce Enríquez
Comunidades:	Guena – San Gerardo – San Juan de Naranjillos – La Unión

6.1.2. Coordenadas

Tabla 5 *Coordenadas de la concesión.*

ÁREA RENACER M3				
PUNTOS	**PSAD 56**		**WGS 84**	
	X	**Y**	**X**	**Y**
PP	650000	9663500	649741	9663127
1	651100	9663500	650841	9663127
2	651100	9662800	650841	9662427
3	655100	9662800	654841	9662427
4	655100	9665000	654841	9664627
5	655600	9665000	655341	9664627
6	655600	9664700	655341	9664327
7	655800	9664700	655541	9664327
8	655800	9664600	655541	9664227
9	656000	9664600	655741	9664227
10	656000	9665000	655741	9664627
11	657000	9665000	656741	9664627
12	657000	9662000	656741	9661627
13	650600	9662000	650341	9661627
14	650600	9663100	650341	9662727
15	650400	9663100	650141	9662727
16	650400	9663200	650141	9662827
17	650300	9663200	650041	9662827
18	650300	9663100	650041	9662727
19	650000	9663100	649741	9662727

Fuente: *Título Minero, 2016.*

6.1.3. Acceso

El acceso hacia el área de investigación se lo puede efectuar por diferentes medios, así tenemos que por vía aérea se puede llegar desde la ciudad de Quito o Guayaquil hasta el aeropuerto de la ciudad de Santa Rosa (una Hora de vuelo), desde allí por una vía de primer orden siguiendo el recorrido Machala – Cambio del Guabo – Ponce Enríquez – Shumiral; o también por vía aérea desde Quito o Guayaquil hasta la ciudad de Cuenca y desde allí por el recorrido en una vía de primer orden por la ruta Cuenca – Molleturo – Naranjal – Shumiral – San Gerardo; desde el centro de este último barrio a veinte y cuatro kilómetros se encuentra la población de San Gerardo, luego por cuatro kilómetros se encuentra el área de estudio. Cabe señalar que desde el sitio San Gerardo todo el trayecto es por una vía de tercer orden.

Fotografía 1: *Vía de tercer orden ingreso a la zona de estudio. En el fondo la población de San Gerardo.*

Fuente: *El autor.*

Fotografía 2: *Vía de tercer orden construida por el concesionario.*

Fuente: *El autor.*

6.2. Levantamiento topográfico

6.2.1. Topografía superficial

La topografía superficial fue derivada de modelos digitales de elevación obtenidos del Geoportal del SIGTierras, a escala 1: 5.000, para el control de calidad se efectuó la corrección mediante topología aplicando las siguientes reglas: no superponerse, no interceptarse y no deben quedar nodos sueltos, para finalmente tener un plano a escala 1:5.000, con una proyección y referencia geográfica UTM, utilizando el datum PSAD-56.

6.2.2. Topografía subterránea

El levantamiento de la información topográfica se realizó a partir de puntos georreferenciados con GPS de mano en coordenadas UTM, datum PSAD-56, con estación total. Para el levantamiento topográfico se colocaron puntos fijos en el techo de la galería

y en la intersección con la labor principal. Los puntos de estación fueron elegidos de manera que los recorridos de cada estación sean lo más sencillos posible y su número de estaciones lo más bajo posible para evitar la acumulación de errores; considerando para esto que las señales no deben estar sometidas a movimientos, enumerando de forma ordenada y recogiendo claramente las observaciones necesarias en las libretas de campo, incluyendo croquis para facilitar su localización.

El levantamiento topográfico facilita la ubicación geográfica de los sitios en que se realizan el levantamiento geológico y geomecánico de la zona de estudio; para ese propósito se ubicaron estaciones debidamente señalizadas en las paredes de la galería.

La metodología utilizada fue la de poligonal abierta, la elección de este método se lo realizó tomando en cuenta que la longitud del levantamiento es relativamente corta (716.66 m), por lo cual no se tendría errores significativos que requieran un ajuste horizontal y vertical.

6.3. Geología

6.3.1. Geología regional.

La geología está determinada por el control estructural tanto a nivel regional como local. R egionalmente hacia el oeste del área de estudio se encuentra constituida por la cuenca de Jambelí, siendo controlada por el sistema de despegue Jambelí, mientras que hacia la z ona suroriental por el sistema de fallas Jubones de rumbo este-oeste, que determina la sutura entre el Bloque Amotape-T ahuín y el basamento oceánico de la cordillera Occidental. La cordillera, está constituida por rocas básicas y ultrabásicas de la

unidad Pallatanga, sobreyacidas discordantemente por sedimentos marinos turbidíticos del Cretácico inferior-Paleoceno; afloran desde el extremo este del levantamiento Narihuiña hacia el norte de la hoja geológica, además como pequeñas ventanas de erosión directamente al norte de la falla Jubones; se encuentran cubiertas por lavas y piroclastos del Eoceno-Mioceno del Grupo Saraguro, e intruido por plutones granodioríticos del Oligoceno-Mioceno. La acreción de las ofiolitas de fondo oceánico al continente, está marcada por estructuras regionales de rumbo noreste-suroeste, representadas por el sistema de fallas Bulubulu que, constituye la sutura entre los terrenos oceánicos y el terreno continental Chaucha.

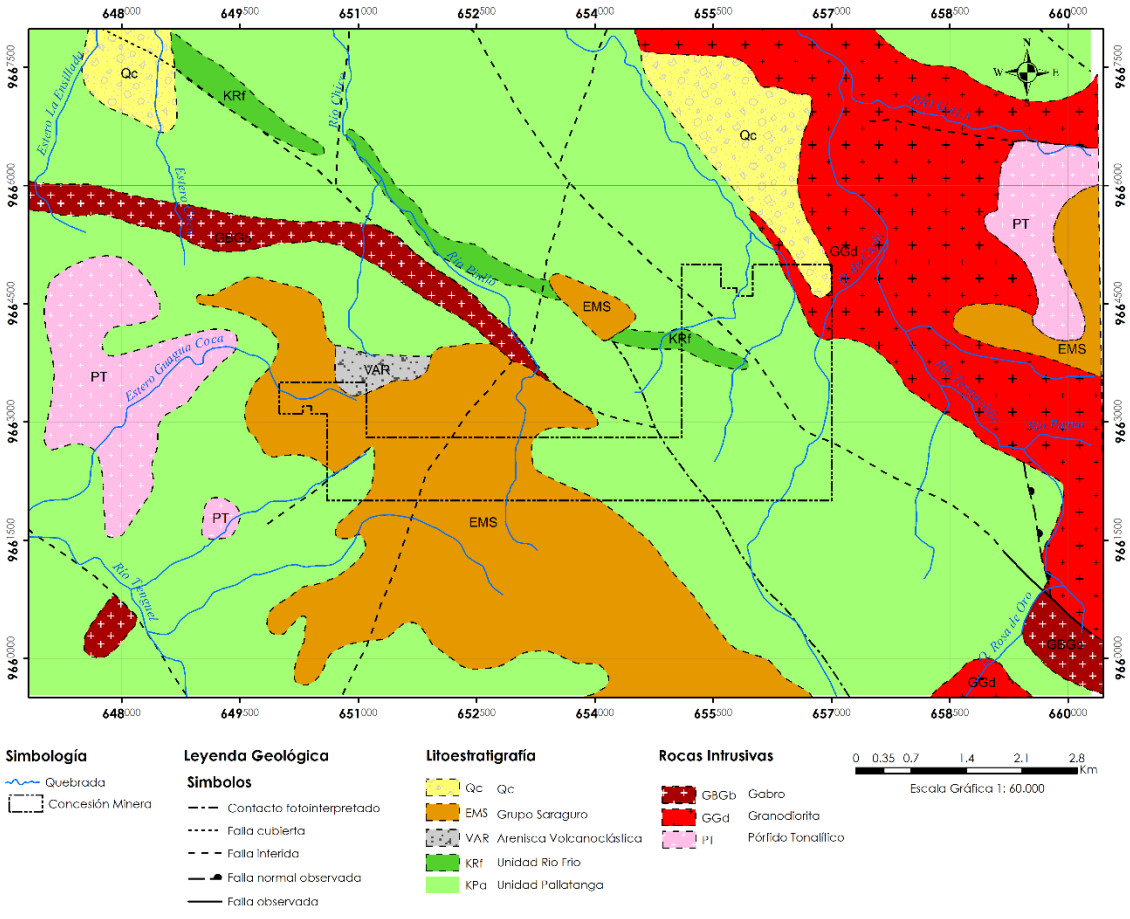


Figura 7: *Mapa de Geología Regional*

Fuente: *Hoja geológica de Machala No 36, INIGEMM.*

La geología fue tomada de los Mapas Geológicos de la Cordillera Occidental del Ecuador escala 1:100000 del año 2017, del Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico. Las características de las unidades de roca del área de estudio se detallan a continuación.

Rocas del Cretácico

UNIDAD RÍO FRÍO (K R f): Incluidas anteriormente en la unidad Pallatanga, diferenciadas en la hoja geológica adyacente de Naranjal (INIGEMM, 2017), son pequeños cuerpos que afloran en el borde de los basaltos de la unidad Pallatanga al sur de Shumiral. Se compone de serpentinitas producto de uralitización de rocas basálticas y gabros, probablemente exhumadas por un sistema de fallas con dirección noroeste-sureste.

Se interpreta a esta unidad como parte de la raíz del basamento oceánico. Dataciones radiométricas por el método S m/Nd, realizadas por Lapierre et al., (2000), arrojan una edad de 123±13 Ma, para el gabro de la unidad San Juan que aflora al suroccidente de Quito, que se interpretó como la base ultramáfica de los basaltos MORB de Pallatanga (Mamberti, M., 2001).

La edad interpretada para esta unidad en base a estos estudios es Cretácico inferior a Cretácico superior.

UNIDAD PALLATANGA (KPa). (CODIGEM-BGS , 1997). Aflora al noroeste de la zona de investigación, en los sectores de Bella Rica–Tenguelillo, San Juan de Naranjillas, Muyuyacu, Narihuiña y, como ventanas erosionales, en las orillas del río Jubones, sectores de Limón, (UT M: 648 711E; 9 632 497N); Calayacu, (UT M: 645

299E; 9633 423N). La unidad contiene basaltos, gabros, sedimentos silíceos finos (chert) y rocas corneanas. Según Luzieux et al (2006), los basaltos de la unidad Pallatanga correspondiente al plateau oceánico tienen 88±1.6 Ma. La edad de acuerdo con estos estudios sería Cretácico superior.

Rocas del eoceno

GRUPO SARAGURO (EMS). (Baldock , 1982). S e extiende por todo el centro-este, desde el norte de la hoja geológica hasta el río Jubones al sur. Descansa discordantemente sobre rocas levantadas del Cretácico superior. La potencia estimada en sectores de mayor acumulación es de 3000 m. (CODIGEM-BGS , 1998). En la zona de interés, se reconocen las Formaciones: Las T rancas, La Fortuna y Jubones. Comprenden: tobas andesíticas, soldadas, verdosas, con abundante plagioclasa, anfíbol y augita (CODIGEM-BGS , 1997); tobas dacíticas, compuestas de feldespato, cuarzo, vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos, en matriz de color marrón claro a violeta; tobas riolíticas, con cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, además de arcilla y calcita, sulfuros diseminados con malaquita y azurita, la roca está meteorizada; tobas brechosas, en afloramientos masivos de rocas volcanoclásticas dacíticas a riolíticas, con presencia de plagioclasa, ±cuarzo, vidrio volcánico, biotita y anfíboles, en sectores, presentan alteración hidrotermal moderada. Además, incluye material volcanosedimentario y cuerpos subvolcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos.

Rocas del cuaternario

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

Ejemplos de estos coluviones se encuentran en los sectores La Playa, Guarumal, Cerro Negro y por el río Pagua. El grado de compactación ha permitido conservar un gran coluvión en forma de abanico, de aproximadamente 25 k m2de superficie, al norte del río Jubones, entre los ríos Chaguana y Calayacu. Compuesto de cantos rodados sub-angulosos, semiredondeados, mal clasificados, predominan los clastos de lavas poligenéticas: basaltos meteorizados, fragmentos de riolita, ignimbrita, dacita, eventualmente sedimentos (lutitas y calizas negras). El material es semiconsolidado, en matriz areno-limo-arcillosa.

Rocas intrusivas

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

Rocas sub-volcánicas

PÓRFIDOS TONALÍTICOS (PT). Representados por los pórfidos de Gaby (UT M: 642 500E; 9 662 000N), Papa Grande (UT M: 644 200E; 9661 000N), La Unión (UT M: 648 691E; 9 663 767N) y pequeños apófisis vecinos. Se trata de roca ígnea intermedia, con plagioclasas, cuarzo, anfíboles, biotita; además de ortosa, titanita, magnetita, zircón.

Representa un intrusivo con múltiples pulsaciones magmáticas, con formación de stocks, diques y brechas de diatrema, de carácter intermedio a ácido. Están estrechamente relacionados con los yacimientos de minerales metálicos de Au, Cu, Mo presentes en la zona, en especial con los depósitos de Au actualmente en explotación. Dataciones en zircones (TIMS) sobre muestras de Gaby y Papa Grande, dieron edad de 20.26 ± 0.06 Ma y 19.89 ± 0.06 Ma, respectivamente (Schütte, P., 2010). Cuerpos brechosos, se identifican tanto al interior del intrusivo, como en la roca encajante, las dimensiones son variables en ancho y en profundidad. Diques, resultantes de relleno de fallas y fisuras, se identifican en relación con los intrusivos ácidos, contienen mineralización polimetálica importante en especial de Au. Las brechas y diques constituyen la mena en las explotaciones mineras actuales.

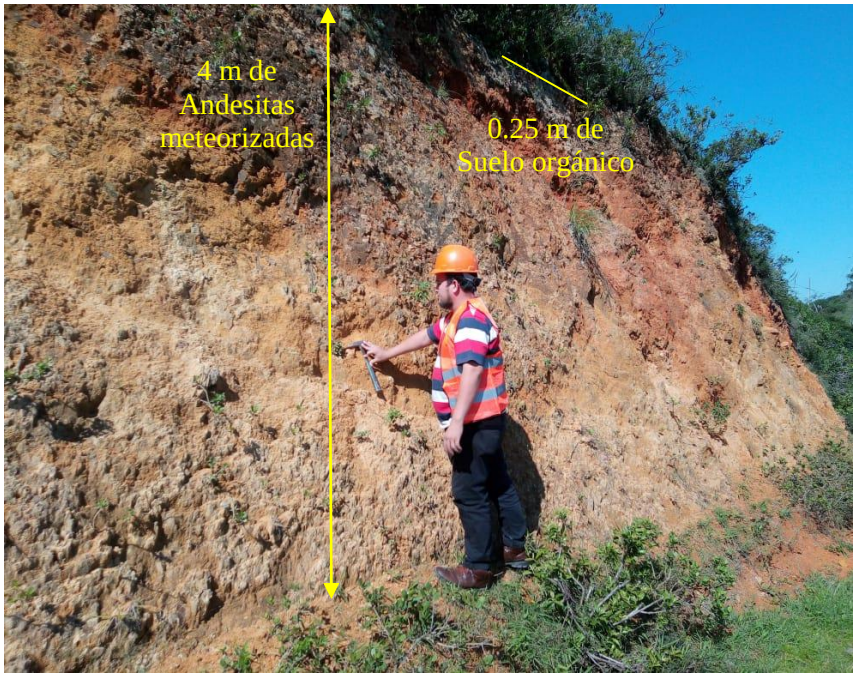
Estructuras geológicas

SISTEMA NOROESTE-SURESTE. Es responsable de los afloramientos del basamento Pallatanga y de las franjas de serpentinita que afloran por la acción de fallas paralelas a la falla río Buriyacu, controla los drenajes principales que nacen en la cima del levantamiento Narihuiña que se extiende de Guagua Corral a río Bonito. Está relacionado

con la formación de los cuerpos mineralizados en asociación con los cuerpos intrusivos emergidos justamente a través de estas fallas.

6.3.2. Geología local.

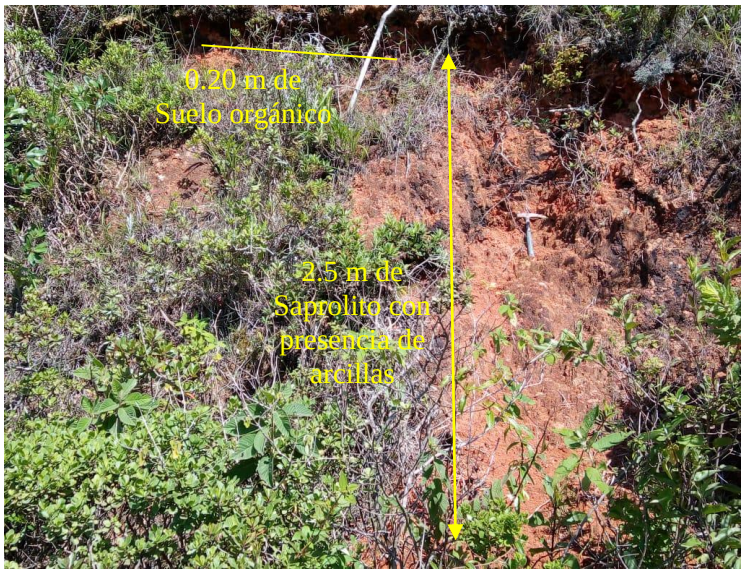
Localmente en la zona de Oro Sol se ha podido verificar la presencia de andesitas, tobas y basaltos como roca de caja, éstas andesitas poseen alteración propilítica y clorítica por lo que en ciertos tramos se observa arcillas y una coloración amarillenta en las paredes del macizo rocoso. Estas rocas en el área de estudio vienen a constituir la roca de caja; dentro de estas estructuras se encuentran las vetas mineralizadas que corresponden a una mineralización de cuarzo-pirita, calcopirita.



Fotografía 3: *Afloramiento de andesitas meteorizadas.*
Fuente: *El Autor.*

A nivel superficial se verifica la presencia de saprolito andesítico, como resultado de la meteorización y erosión de las andesitas, cuyos derrubios fueron transportados a

zonas de acumulación dando lugar al origen de estas formaciones superficiales. Las dimensiones de los clastos son centimétricos a métricos, y formas semiangulosas a semiredondeadas.



Fotografía 4: *Clasto semi redondeado de composición andesítica*

Fuente: *El Autor.*

En los taludes de las vías también se puede observar la descomposición de las andesitas originando capas de saprolito. Se ha podido verificar la presencia de óxidos de hierro, formando suelos lateríticos.

Fotografía 5. *Saprolito andesítico aflorando en la vía.*

Fuente: *El Autor.*

La orientación de las andesitas están en sentido NE - SW y dentro de las mismas se encuentran las estructuras mineralizadas (vetas) de ahí que considerando la geometría de la mineralización, todas las galerías o labores mineras están excavadas perpendicularmente a las estructuras principales para poder cortar las vetas mineralizadas.

En este contexto el diseño de la galería de transporte toma en cuenta estos aspectos, cuyo objetivo principal es cortar la estructura mineralizada en una cota inferior, con el objetivo de poder facilitar los trabajos de explotación.

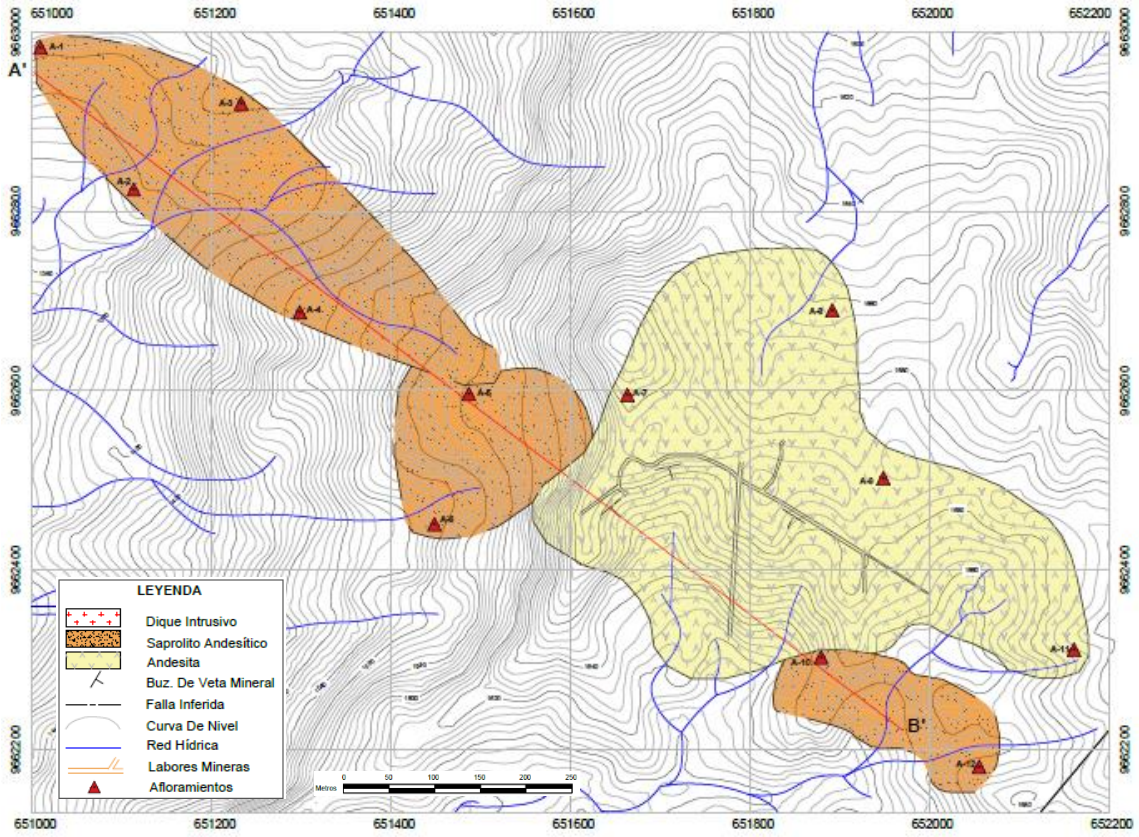


Figura 8: *Mapa de Geología Local.*

Fuente: *El autor.*

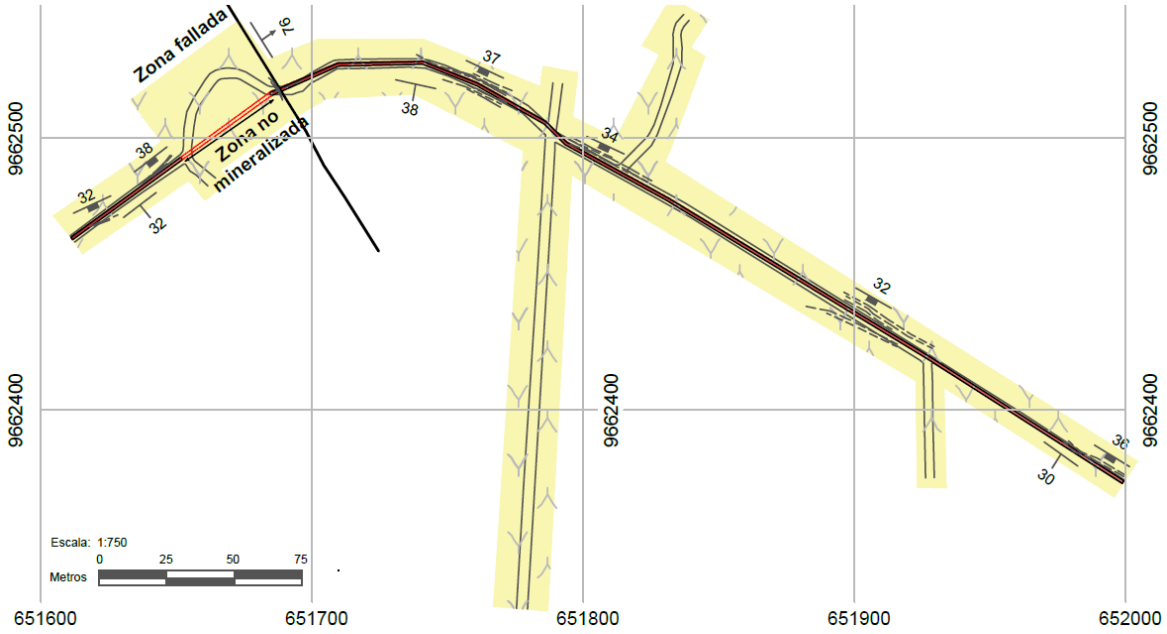


Figura 9: *Geología interior mina Nivel 2.*

Fuente: *El autor.*

6.3.2.1. *Mineralización.*

El emplazamiento tectónico de los Andes conduce a varios estilos de mineralización metálica. En la Cordillera Occidental, por lo menos 70 prospectos, principalmente dentro de los distritos mineros de Azuay y La Plata, relacionados directamente con la actividad magmática y/o fallas; éstos han sido explotados o se conoce que contienen oro, cobre u otros metales comerciales. Estas ocurrencias conocidas pueden ser clasificadas por sus características físicas y/o por su temperatura de depositación de mena. Este tipo de distinciones es informativo, no solo en relación al tamaño, grado y composición del cuerpo mineralizado, sino también a las implicaciones ambientales de su explotación. Un entendimiento de los principales estilos de mineralización encontrados a lo largo de la Cordillera Occidental es importante para los geólogos económicos como para los planificadores ambientales.

Se han reconocido los siguientes tipos de mineralización.

Depósitos relacionados con pórfidos, stocks de riolita a andesita (microdiorita) porfiríticos y no porfiríticos, comúnmente en complejos intrusivos (ej. Gaby, Fierro Urcu).

Depósitos epitermales asociados con calderas, fracturas regionales y stocks de riolita del Cinturón Gañarín (ej. Gañarín, Quimsacocha).

Depósitos mesotermales, vetas, brechas y diatremas conteniendo turmalina, mineralizados con metales base (Cu, Pb, Zn) y Au (ej. Tres Chorreras, La playa, La Tigrera).

Depósitos combinados tipo epi-mesotermales, vetas localmente ricas en oro con un contenido variable de metales base (ej. Zaruma, Portovelo, Bella Rica).

Sulfuros masivos, probablemente de origen exhalativo de baja temperatura (ej. San Fernando) (UNPD, 1969).

El Campo Mineral Ponce Enríquez ubicado dentro del Subdistrito Machala-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. Es una zona acrecionada propicia para la búsqueda de yacimientos metálicos de origen volcánico o sulfuros masivos estratiformes, depósitos filoneanos de alta temperatura (epi-mesotermal).

Alrededor del Campo Mineral Ponce Enríquez ocurre un conjunto predominante de rocas volcánicas, andesitas y basaltos, diabasas, brechas, todas estas rocas de la **Unidad Pallatanga (Basaltos Bella Rica)**. Sin embargo, la exposición típica en los frentes de trabajo es de basaltos verdes, dolerita, y hialoclásticas con stockworks irregulares de epidota, cuarzo y clorita que no sobrepasan los 20 mm de espesor en sus vetillas: zonas de alteración de epidota son comunes (indicativo de mineralización) y alcanzan espesores de 50 mm. Adicional a ello, las rocas tienen una aparente susceptibilidad magnética.

El dominio litológico principal son rocas volcano-sedimentarias del Grupo Saraguro. Entre ellas andesitas porfiríticas y diabasas afaníticas poco alteradas con intercalaciones de pequeños paquetes sedimentarios. Además, andesitas y diabasas que han sido hidrotermalmente alteradas y en general fuertemente propilizadas. Sobre el basamento se encuentran depósitos aluviales de pie de monte constituido de arcillas, arenas y gravas, conjuntamente con depósitos gravitacionales heterogéneos. La roca de caja está constituida por lavas de composición intermedia a básica y rocas volcanoclásticas e intrusiones volcánicas contemporáneas.

La mineralización y alteración hidrotermal aparecen relacionadas con una secuencia basáltica, **Basaltos de Bella Rica**, Pórfidos Tonalíticos de más de 1 km de espesor intruído por varios cuerpos de cuarzo-diorita a micro-tonalita porfídica (ej. Gaby, Guadalupe, Papa Grande) de edad Terciario Tardío. Hacia el E, esta unidad está cubierta discordantemente por rocas volcánicas calco-alcalinas subáreas del Grupo Saraguro de edad Terciario Medio-tardío.

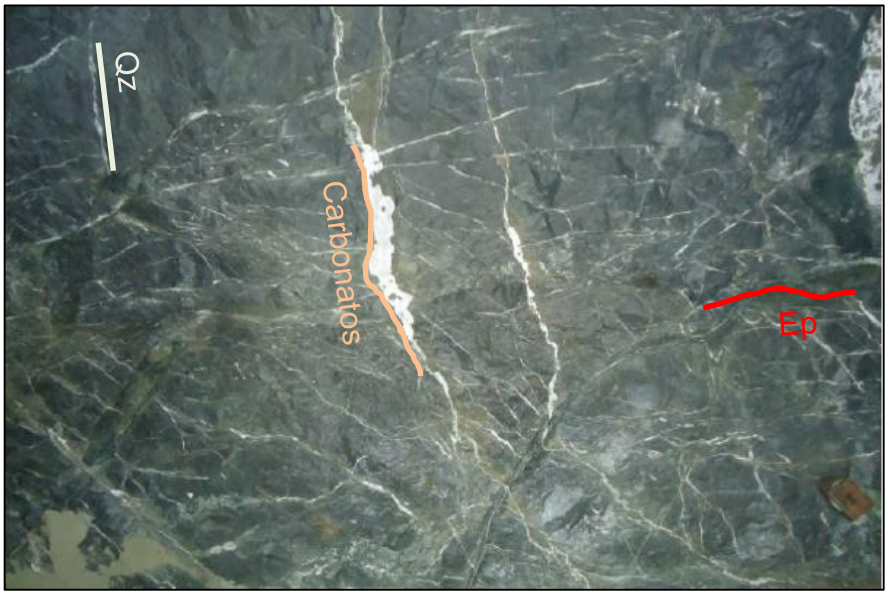
6.3.3. Geología Estructural

La cordillera principal tiene orientación NE con rumbo entre N28E a N35°E, la veta mineral se encuentra orientada hacia el NE entre 30 a 45 grados, luego continúa extendiéndose hacia el Este con rumbo de N80°E. de estas condiciones de orientación de la veta mineral se ha construido una galería principal de corte en un nivel o cota superior, donde se está explotando, sin embargo, la veta mineral continúa profundizándose con bajo ángulo de buzamiento entre 30° a 35° al SW.

En la zona también existen estructuras menores como las fallas que se orientan en sentido NE, E-W y otras hacia el SW que se pueden estimar del análisis fotogeológico de la orto foto y topografía del área.

De acuerdo a la geología local en la zona predominan las rocas andesíticas de color verde por alteración propilítica, estas rocas se encuentras atravesadas por numerosos diques, vetas y vetillas de cuarzo, calcita y venillas de baritina.

Estas rocas también se encuentran instruidas por diques y vetas de minerales obscuros, estas intrusiones en algunos sectores han producido empuje y falla miento de estructuras menores, en este caso las vetas se encuentran falladas por la influencia de estos procesos postmagmáticos durante la génesis del yacimiento.



:Fotografía 6 *"Stockwork", vetillas de cuarzo, carbonatos y epidota dentro de las andesitas y basaltos que se encuentran con alteración propilítica, se observa en las paredes de las labores mineras.*

Fuente: *El autor.*

Fotografía 7: *Vetillas de bajo buzamiento y estranguladas por la presencia de fallamiento local.*

Fuente: *El autor.*

Con este reconocimiento de las principales estructuras y la geología local, junto con los ensayos de laboratorio para determinar ensayos a la compresión simple de algunas

muestras de roca, cuyos datos nos permitirán evaluar las principales condiciones geomecánicas, utilizando la metodología de clasificación geo mecánica de Bieniawsky.

6.4. Propiedades Físico-Mecánicas

Para conocer las características físico-mecánicas de las rocas, se recolectó una muestra de roca encajante, cuyo ensayo se realizó en el laboratorio ESTSUELCON Cía. Ltda. de la ciudad de Loja.

Los resultados para peso específico y peso volumétrico se detalla a continuación:

Tabla 6. *Resultados de ensayos de peso específico y peso volumétrico de las rocas extraídas*

Código	Descripción	Peso específico gr/cm³	Peso Volumétrico gr/cm³
M1	Roca Andesita	2.74	2.72

Fuente: *El autor.*

Resistencia de las rocas

Los resultados de los ensayos de compresión uniaxial se detallan a continuación:

Tabla 7. *Ensayos de compresión simple*

Código	Área cm²	Volumen cm/³	Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm²	Resistencia a la compresión Mpa
M1	28.57	147.98	10907.24	381.802	37.442

Fuente: *El autor.*

Fortaleza (f)

Se denomina a la capacidad de las rocas de resistir la acción de esfuerzos exteriores. La fortaleza de las rocas (f) depende de su composición mineralógica, su estructura y textura. La fortaleza de las rocas se valora por el coeficiente de fortaleza que numéricamente es igual a la relación entre el límite de resistencia a compresión axial de la muestra de roca (Rc) con respecto a un valor de referencia que se toma igual a 100 Kg/cm2 (Protodiakonov, 1962).

$$f = \frac{R_c}{100} \quad (12)$$

Dónde:

f = Fortaleza de la roca

Rc = Resistencia a la compresión uniaxial (kg/cm²)

$$f = \frac{381.802}{100} = \mathbf{3.818}$$

Tabla 8. *Resultados de la resistencia a la tracción de la roca*

Código	Resistencia a la Compresión Kg/cm²	Resistencia a la tracción de la roca f
M1	381.802	3.818

Fuente: *El autor.*

De acuerdo a los resultados obtenidos en la *Tabla 8* sobre la mecánica de las rocas en estudio y clasificando con la *Tabla 9* de la clasificación de las rocas según el coeficiente

de fortaleza de Protodiakonov, tenemos que el coeficiente de la roca (andesita) pertenece a una categoría de fortaleza V.

Tabla 9. *Clasificación de las rocas según la fortaleza*

Categoría	Grado de fortaleza	Tipo de roca	Coeficiente de fortaleza
1	**2**	**3**	**4**
I	Rocas fuertes en grado superlativo	Cuarcitas y basaltos más duros, compactos y viscosos	20
II	Rocas muy fuertes	Rocas graníticas muy duras, pórfidos cuarcíticos, esquistos silíceos, cuarcitas menos duras que las señaladas anteriormente, areniscas y calizas más duras	15
III	Rocas fuertes	Granitos (denso), areniscas y calizas duras, vetas de minerales cuarcíferos, conglomerados duros, minas de hierro muy duras	10
III a	Rocas fuertes	Calizas (duras), granitos no duros, areniscas duras, mármol duro, dolomita	8
IV	Rocas bastante fuertes	Areniscas duras, minerales de hierro	6
IV a	Rocas bastante fuertes	Esquistos arenosos, areniscas esquistosas	5
V	Rocas de fortaleza media	Esquistos arcillosos duros, areniscas y calizas no duras, conglomerados suaves	4
V a	Rocas de fortaleza media	Distintos esquistos (no duros), marga compacta	3
VI	Rocas algo débiles	Esquistos blandos, calizas muy blandas, tiza, sal, yeso, marga común, areniscas destruidas, cantos rodados cementados en suelos pedrizos	2
VI a	Rocas algo débiles	Suelos de cascajos, esquistos destruidos, arcillas endurecidas	1.5
VII	Rocas débiles	Arcilla compacta, aluvión duro, hulla blanda, suelo arcilloso	1
VII a	Rocas débiles	Arcilla arenosa ligera, grava	0.8
VIII	Rocas terrosas	Tierra vegetal, turba, suelos ligeros, arena seca	0.6
IX	Rocas sueltas	Arena, grava fina, hulla extraida	0.5
X	Rocas movedizas	Terrenos movedisos, suelos cenagosos, maderas podridas y otros suelos diluidos	0.3

Fuente: *Protodiakonov, 1962.*

Es necesario considerar que los coeficientes de fortaleza de la tabla anterior son valores promedios que sirven de referencia, pero no está orientado a casos específicos. La andesita tiene un grado de fortaleza 3.82, pero cuando posee fisuras con presencia de agua que desestabilizan el macizo rocoso nos da una categoría tipo V; tomando en cuenta que el diseño de la galería prevista para este proyecto estará 248 m más profundo del sitio donde se realiza el estudio, se espera que las características mecánicas de las rocas mejoren; sin embargo se tomará un grado de fortaleza de 3 para los cálculos posteriores.

6.5. Caracterización Geomecánica Para El Diseño De La Galería.

6.5.1. Determinación del índice de calidad de la roca RMR por el método de Bieniawski

Para la clasificación del macizo rocoso a través del índice RMR se realizó una zonificación de la zona de explotación de la veta Oro Sol Nivel 1, considerando la homogeneidad geológica de la roca, principalmente litología y estructuras presentes en el macizo por m². Seguido a esto se seleccionó algunos sitios de observación representativos para evaluar los parámetros de la clasificación que permitan determinar tanto el RQD como el RMR y poder establecer parámetros que nos den una clasificación del tipo de macizo rocoso y establecer los parámetros técnicos para realizar el pasaporte de perforación y voladura.

Para el cálculo del RMR_{89}, se consideró los siguientes parámetros: resistencia compresión simple, RQD, espaciamiento de las discontinuidades, estado de las diaclasas, y el factor de corrección por orientación de las juntas. Las fichas de levantamiento de campo se indican en el Anexo 5.89

6.5.1.1. *Resultados del índice RMR del macizo rocoso*

- **Abscisa 0 + 50**

Según la evaluación dela macizo rocoso tanto de campo como de laboratorio y de oficina el macizo corresponde principalmente a una calidad media clase III, con un valor de RMR de 57 y un RQD del 82 %. Dando un tiempo medio de sostenimiento natural de 1.5 a 3 m en la media sección, sostenimiento primario después de cada voladura y sostenimiento completo a 10 m del frente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10 *Datos de la estación geotécnica 1, según la clasificación RMR$_{89}$*

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:	1		**Ubicación:**	A. M. Renacer M3	**Litología:**	Andesita
Abscisa:	0+50					
Proyecto:	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"					
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión			37.44 Mpa	25 - 50 Mpa	4
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv		Jv = 10	82 %	75 - 89 %	17
3	Espaciado de las diaclasas (m)				0.6 - 2 m	15
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia			1 - 3 m	4
		Abertura (mm)			0.1 - 1 mm	3
		Rugosidad			Rugosa	5
		Relleno (mm)			Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración			Mod. Alterada	3
5	Agua subterránea				Húmedo	7
6	Corrección por orientación				Muy desfavorable	-5
					RMR 89 = RMR básico - 6*	57-III Media

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 55**

Según la evaluación dela macizo rocoso tanto de campo como de laboratorio y de oficina el macizo corresponde principalmente a una calidad media clase III, con un valor

de RMR de 59 y un RQD del 75 %. Dando un tiempo medio de sostenimiento natural de 1.5 a 3 m en la media sección, sostenimiento primario después de cada voladura y sostenimiento completo a 10 m del frente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11 *Datos de la estación geotécnica 2, según la clasificación* RMR_{89}

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:	1		**Ubicación:**	A. M. Renacer M3	**Litología:**	Andesita
Abscisa:	0+55					
Proyecto:	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"					
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión			37.44 Mpa	25 - 50 Mpa	4
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	Jv = 12		75 %	75 - 89 %	17
3	Espaciado de las diaclasas (m)				0.6 - 2 m	15
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia			1 - 3 m	4
		Abertura (mm)			0.1 - 1.0 mm	3
		Rugosidad			Rugosa	5
		Relleno (mm)			Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración			Lig. Alterada	5
5	Agua subterránea				Húmedo	7
6	Corrección por orientación				Muy desfavorable	-5
					RMR 89 = RMR básico - 6*	59-III Media

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 60**

Según la evaluación dela macizo rocoso tanto de campo como de laboratorio y de oficina el macizo corresponde principalmente a una calidad media clase III, con un valor de RMR de 57 y un RQD del 85 %. Dando un tiempo medio de sostenimiento natural de 1.5 a 3 m en la media sección, sostenimiento primario después de cada voladura y sostenimiento completo a 10 m del frente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 12 *Datos de la estación geotécnica 3, según la clasificación RMR89*

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:	1		**Ubicación:**	A. M. Renacer M3	**Litología:**	Andesita
Abscisa:	0+60					
Proyecto:	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"					
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión			37.44 Mpa	25 - 50 Mpa	4
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	Jv = 9		85 %	75 - 89 %	17
3	Espaciado de las diaclasas (m)				0.6 - 2 m	15
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia			1 - 3 m	4
		Abertura (mm)			0.1 - 1.0 mm	3
		Rugosidad			Rugosa	5
		Relleno (mm)			Relleno duro > 5 mm	2
		Alteración			Lig. Alterada	5
5	Agua subterránea				Húmedo	7
6	Corrección por orientación				Muy desfavorable	-5
					RMR 89 = RMR básico - 6*	57-III Media

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 66**

Según la evaluación dela macizo rocoso tanto de campo como de laboratorio y de oficina el macizo corresponde principalmente a una calidad media clase III, con un valor de RMR de 52 y un RQD del 82 %. Dando un tiempo medio de sostenimiento natural de 1.5 a 3 m en la media sección, sostenimiento primario después de cada voladura y sostenimiento completo a 10 m del frente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 13 *Datos de la estación geotécnica 4, según la clasificación RMR89*

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:	1		**Ubicación:**	A. M. Renacer M3	**Litología:**	Andesita
Abscisa:	0+66					
Proyecto:	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"					
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión			37.44 Mpa	25 - 50 Mpa	4
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	Jv = 10		82 %	75 - 89 %	17
3	Espaciado de las diaclasas (m)				0.2 - 0.6 m	10
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia			1 - 3 m	4
		Abertura (mm)			0.1 - 1.0 mm	3
		Rugosidad			Rugosa	5
		Relleno (mm)			Relleno duro > 5 mm	2
		Alteración			Lig. Alterada	5
5	Agua subterránea				Húmedo	7
6	Corrección por orientación				Muy desfavorable	-5
					RMR 89 = RMR básico - 6*	52-III Media

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 76**

Según la evaluación dela macizo rocoso tanto de campo como de laboratorio y de oficina el macizo corresponde principalmente a una calidad media clase III, con un valor de RMR de 57 y un RQD del 79 %. Dando un tiempo medio de sostenimiento natural de 1.5 a 3 m en la media sección, sostenimiento primario después de cada voladura y sostenimiento completo a 10 m del frente. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14 *Datos de la estación geotécnica 5, según la clasificación RMR89*

RESULTADOS GEOMECÁNICOS						
Est. Geotécnica No:	1		**Ubicación:**	A. M. Renacer M3	**Litología:**	Andesita
Abscisa:	0+76					
Proyecto:	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"					
CLASIFICACIÓN RMR - BIENIAWSKI (1989)						
PARÁMETROS					VALORACIÓN	PUNTAJE
1	Resistencia a la compresión			37.44 Mpa	25 - 50 Mpa	4
2	RQD (%) = 115 - 3.3 Jv	Jv = 11		79 %	75 - 89 %	17
3	Espaciado de las diaclasas (m)				0.6 - 2 m	15
4	Estado de las diaclasas	Longitud o persistencia			1 - 3 m	4
		Abertura (mm)			0.1 - 1.0 mm	3
		Rugosidad			Lig. Rugosa	3
		Relleno (mm)			Relleno duro < 5 mm	4
		Alteración			Lig. Alterada	5
5	Agua subterránea				Húmedo	7
6	Corrección por orientación				Muy desfavorable	-5
					RMR 89 = RMR básico - 6*	57-III Media

Fuente: *El autor.*

6.5.2. Determinación del índice Q de Barton

Para la clasificación del macizo rocoso a través del índice Q, se utilizó los mismos datos de campo tomados para la clasificación geomecánica de Bieniawski. Para el cálculo del índice Q no se toma en cuenta la orientación de las familias de diaclasas con respecto a la orientación de la excavación, pero se consideró todas las familias o juntas, tomando la valoración de la familia de discontinuidad más favorable.

Con el índice Q de Barton, se corrobora la clasificación por el método de Bieniawski estableciendo una similitud en los resultados.

6.5.2.1. *Resultados del índice Q*

- **Abscisa 0 + 50**

Evaluando los resultados de campo según la clasificación geomecánica de Q de Barton, se obtiene un macizo rocoso de calidad Roca Media, con los siguientes valores.

Tabla 15 *Datos de la estación geotécnica 1, según la clasificación Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: William Jiménez Tipo de Roca: Andesita Sitio de Observación: 0 + 50	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²)	301.802 Kg/cm²
RQD = 115 - 3.3 Jv	82
Número de familias de juntas (Jn)	9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	1
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2.5
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	**7.22**
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Roca Media

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 55**

Evaluando los resultados de campo según la clasificación geomecánica de Q de Barton, se obtiene un macizo rocoso de calidad Roca Media, con los siguientes valores.

Tabla 16 *Datos de la estación geotécnica 2, según la clasificación Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: William Jiménez Tipo de Roca: Andesita Sitio de Observación: 0 + 55	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²)	301.802 Kg/cm²
RQD = 115 - 3.3 Jv	75
Número de familias de juntas (Jn)	9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	0.6
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2.5
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	**11.00**
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Roca Buena

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 60**

Evaluando los resultados de campo según la clasificación geomecánica de Q de Barton, se obtiene un macizo rocoso de calidad Roca Media, con los siguientes valores.

Tabla 17 *Datos de la estación geotécnica 3, según la clasificación Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: William Jiménez Tipo de Roca: Andesita Sitio de Observación: 0 + 60	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²)	301.802 Kg/cm²
RQD = 115 - 3.3 Jv	85
Número de familias de juntas (Jn)	9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	0.6
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2.5
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	**12.47**
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Roca Buena

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 66**

Evaluando los resultados de campo según la clasificación geomecánica de Q de Barton, se obtiene un macizo rocoso de calidad Roca Media, con los siguientes valores.

Tabla 18. *Datos de la estación geotécnica 4, según la clasificación Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: William Jiménez Tipo de Roca: Andesita Sitio de Observación: 0 + 66	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²)	301.802 Kg/cm²
RQD = 115 - 3.3 Jv	82
Número de familias de juntas (Jn)	9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	0.6
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2.5
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	**12.03**
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Roca Buena

Fuente: *El autor.*

- **Abscisa 0 + 76**

Evaluando los resultados de campo según la clasificación geomecánica de Q de Barton, se obtiene un macizo rocoso de calidad Roca Media, con los siguientes valores.

***Tabla 19**. Datos de la estación geotécnica 5, según la clasificación Q de Barton*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	
ÍNDICE Q	
Realizado por: William Jiménez Tipo de Roca: Andesita Sitio de Observación: 0 + 76	
PARÁMETRO	**VALORACIÓN**
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²)	301.802 Kg/cm²
RQD = 115 - 3.3 Jv	79
Número de familias de juntas (Jn)	9
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	2
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	0.6
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0.66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2.5
$$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$$	
ÍNDICE Q	**7.72**
CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	Roca Media

***Fuente:** El autor.*

***Tabla 20**. Promedio de clasificación del macizo rocoso*

AFLORAMIENTO	TIPO DE ROCA	CLASE	RQD (%)	RMR (1989)	ÍNDICE Q
0+50	Media	III	82	`57	7.22
0+55	Media	III	75	59	11
0+60	Media	III	85	57	12.47
0+66	Media	III	82	52	12.03
0+76	Media	III	79	57	7.72
PROMEDIO	Media	III	**80.60**	**56.25**	**10.09**

***Fuente:** El autor.*

De acuerdo a las propiedades mecánicas y las condiciones geológicas de la zona de estudio se clasifica al macizo rocoso en clase Media, tipo de roca III para la clasificación RMR (1989), mientras para el índice Q de acuerdo a los parámetros de

clasificación se establece como Roca Buena; este resultado muestra una similitud entre ambos sistemas.

Además, conforme a la tabla de sostenimiento incluida en la clasificación RMR (ver anexo 2), se estima dos tipos de sostenimientos: para la roca con categoría buena se propone un sostenimiento total a 20m del frente, empleando pernos locales en el techo de Ø 20 mm, de 3m de largo y un espaciado de 2.5 con malla ocasional y una capa de 50 mm donde se requiera de hormigón lanzado; en cambio para la roca con una categoría de media se estima un sostenimiento completo cada 10 m del frente, con un empernado sistemático de 4m de largo, espaciado de 1.5 a 2m en el techo y paredes con malla, y una capa de 50 mm de hormigón en el techo y paredes.

6.5.3. Datos preliminares de Diseño

Cuerpos minerales vetiformes orientados de manera sub horizontal con bajo buzamiento entre 30° a 35°.

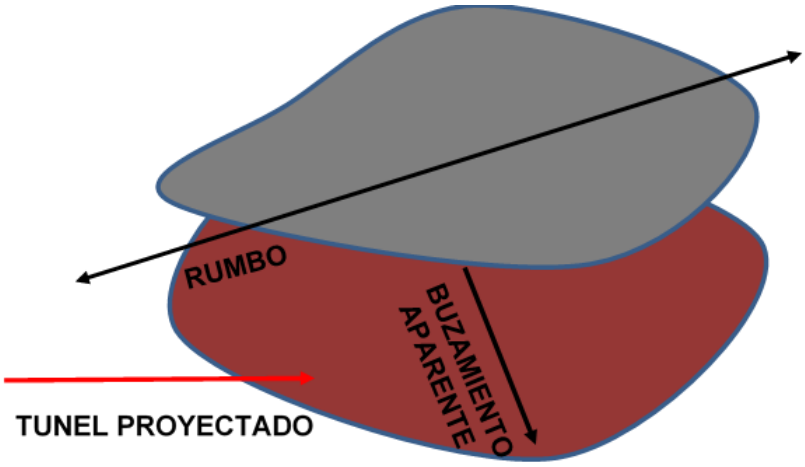


Figura 10: *Bosquejo del cuerpo mineral y proyección del túnel.*

Fuente: *El Autor.*

Proyección de túnel desde el Oeste hacia el Este, con rumbo entre S40°E a S50°E desde la cota 1386 m.s.n.m.m, que corresponde al punto más bajo respecto a la cota de la veta mineral en explotación.

6.5.4. Dimensionamiento preliminar de la galería de explotación.

Longitud necesaria para cortar la veta mineral, entre 1000 metros a 1200 metros.

Sección de galería, se considera el tipo de galería, el dimensionamiento de los equipos, y las funciones que va cumplir, en este caso es una galería principal de transporte y acceso a la veta mineral, con el uso de equipos tales como vagones con neumáticos para transporte por consiguiente tendrá las siguientes dimensiones:

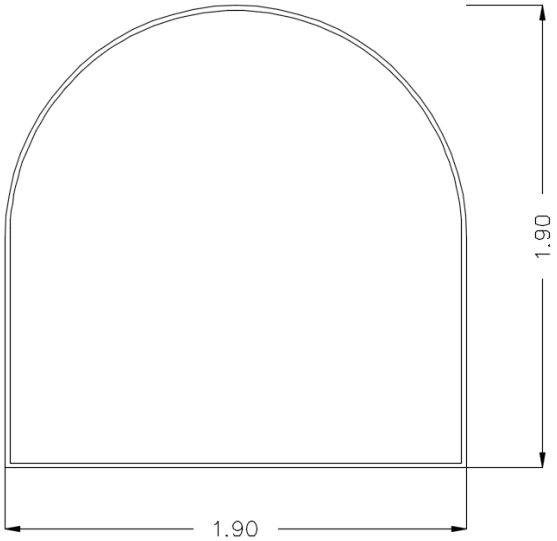


Figura 11: *Dimensiones generales del diseño del túnel.*

Fuente: *El autor.*

Después de haber considerado el dimensionamiento de la galería como es su ancho y altura se tiene que pasar a evaluar las condiciones del terreno (macizo rocoso), para

poder estimar las condiciones de estabilidad, ya que la primera condición o factor que influye en la estabilidad de una excavación minera es la sección de la misma.

De estas consideraciones se empezaron a desarrollar las primeras clasificaciones geo mecánicas tendientes a resolver algunos problemas ingenieriles relacionados con la excavación de túneles en diferentes terrenos y macizos rocosos.

6.5.5. Propiedades de la Roca y Macizo Rocoso

- Tipo de roca: Andesitas y basaltos.
- Resistencia a la compresión estimada mediante ensayo de laboratorio 37.44 Mpa.
- Numero de sets de fracturas, 2 y 3 sets de fracturas.
- La principal familia o set es paralela con la orientación de la veta mineralizada.
- Fallas dominantes sentido NNE y SSE – SW.
- La veta principal se orienta en sentido E-W, luego hacia el SE.

6.6. Parámetros Técnicos Para el Diseño de la Galería

La galería tendrá una distancia aproximada de 1200 m, contará con una sola vía, se franqueará prácticamente en su totalidad por roca andesita de resistencia media; no se identifica presencia de estructuras que puedan alterar el diseño; tales como: fallas de importancia, contactos de formaciones u otros; lo cual es un indicador de que no se encontrará presencia de agua, ya que la andesita es una roca compacta. La limpieza se realizará de forma manual con herramientas como palas, picos, etc.; mientras el acarreo

se lo hará con dos vagones que tendrán las siguientes dimensiones: A = 0.80m, L = 1.2m, H = 0.65m.

El ciclo de básico de la excavación se compone de las siguientes operaciones:

- Perforación de barrenos.
- Carga de explosivos.
- Disparo de las voladuras.
- Evacuación de gases y ventilación.
- Saneo y fortificación en caso de ser necesario.
- Carga y transporte de escombros.
- Replanteo de pasaporte de perforación.

Cabe señalar que este proceso es cíclico, conforme termina el turno se reinicia desde el principio.

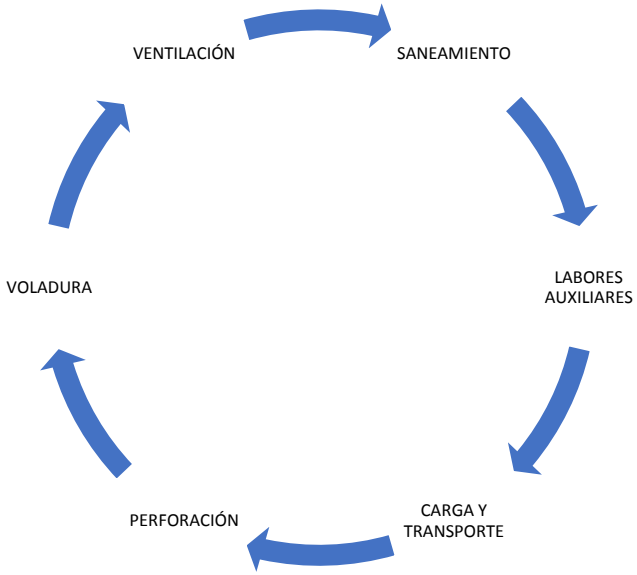


Figura 12: *Ciclo básico de ejecución de una galería.*

Fuente: *El autor.*

6.7. Elección de la forma de la sección del túnel

La elección de la forma de la sección transversal de un túnel se decide luego de haber analizado varias alternativas, seleccionando la más óptima de acuerdo a las condiciones encontradas en el sitio mismo a desarrollarse la obra como:

- Propiedades físico-mecánicas de las rocas a través de las cuales se realizará la excavación.
- El estado en que se encuentran las rocas, magnitud y dirección de la estructura mineralizada.
- El tiempo de servicio, su destino y el tipo de fortificación a instalarse.
- La factibilidad técnica y económica.

Para el túnel del proyecto antes mencionado se ha optado por la forma abovedada con un centro, rectangular en la parte inferior y con un arco circular en la parte superior.

6.8. Determinación de las dimensiones de la sección transversal

a. Determinación de la sección de luz

Tabla 21 *Parámetros de sección transversal*

SECCIÓN TRANSVERSAL		
Pendiente ‰	0.003	m/m
Ancho Excavación (B)	1.900	m
Altura de hastiales (h1)	0.950	m
Radio central (r)	0.950	m

Fuente: *El autor.*

b. Ancho de la excavación (B)

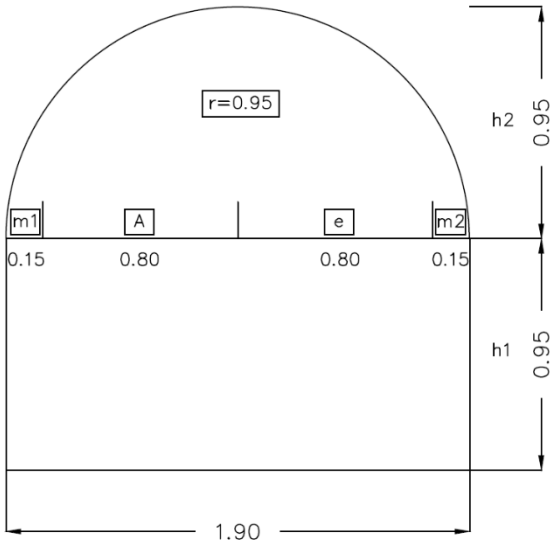


Figura 13: *Dimensiones de galería.*

Fuente: *El autor.*

$$B = m1 + A + e + m2 \quad (13)$$

Donde:

m1; m2 = Holgura entre pared y transporte.

A = Ancho del transporte (Vagón)

e = Espacio para cuneta, manga de ventilación y circulación de personal.

$$B = 0.15 + 0.80 + 0.80 + 0.15$$

$$\boldsymbol{B = 1.90\ m}$$

c. Altura luz de túnel (Hl)

$$Hl = h1 + h2$$

Dónde:

h1 = Altura de hastiales

h2 = Radio de la bóveda

$Hl = 0.95 + 0.95$

$\boldsymbol{Hl = 1.90\ m}$

d. Área útil de la sección (S)

$$S = B * h1 + \frac{\pi * (h2)^2}{2} \quad (14)$$

$$S = 1.90 * 0.95 + \frac{\pi * (0.95)^2}{2}$$

$\boldsymbol{S = 3.223\ m^2}$

e. Altura del proyecto de la galería (hp)

$$hp = h1 + h2 \quad (15)$$

$hp = 0.95 + 0.95$

$\boldsymbol{hp = 1.90}$

f. Sección de laboreo (Sl)

$$Sl = v * S \quad (16)$$

Donde:

v = Coeficiente que considera un excedente de excavación (1.03)

$$Sl = 1.03 * 3.223$$

$$\boldsymbol{Sl = 3.319\ m^2}$$

6.9. Franqueo con Trabajos de Perforación y Voladura

Para el presente proyecto se utilizó el Método Suizo o Bernold, el es uno de los métodos de avance en túneles más extendidos. El caso ideal al perforar un túnel es colocar el sostenimiento justo después de haber excavado el túnel; por lo cual en este estudio se ha complementado con clasificaciones geomecánicas para establecer el tipo de macizo rocoso y emplear el método de sostenimiento adecuado. El arranque de rocas con fortaleza mayor a 4; tales como, andesitas, tobas y basaltos es conveniente para la excavación basado en el empleo de perforación y explosivos, o sea distribuir la sustancia explosiva en el macizo.

Se utiliza martillos perforadores neumáticos con pie de avance usando como energía el aire comprimido a presión de 5 a 7atm (110 - 120psi) para un espacio o dimensión de la excavación de 1.90 m de ancho por 1.90 m de alto. Dividiendo en dos etapas las operaciones de perforación y limpieza.

Etapa 1

- Desquinche, limpieza de rocas sueltas en el techo y paredes.
- Limpieza del 70% al 80% de roca abatida y construcción de la plataforma de perforación.

- Replanteo de los barrenos en el frente marcando con pintura y flexómetro.
- Perforación de la parte superior.
- Soplado de los barrenos; limpieza de los detritos de perforación con aire.

Etapa 2

- Limpieza del restante 30% o 20% del material.
- Replanteo de barrenos en la parte inferior.
- Perforación.
- Soplado con aire de los barrenos.
- Carga de barrenos y disposición de la malla de encendido.
- Detonación.
- Ventilación.

Simultáneamente con las operaciones principales se realizan operaciones auxiliares como:

- Colocación de tuberías y cables.
- Control topográfico, entre otros.

a. Método de franqueo

Se utiliza el método de perforación y voladura.

b. Elección de la sustancia explosiva.

La sustancia explosiva debe reunir las siguientes características:

- Seguridad en su traslado y manipulación.
- Alta capacidad de trabajo.
- Alta densidad.
- No ser higroscópica.

- Ser químicamente estable.
- Bajo costo.

En base a estas características el tipo de sustancia explosiva es el EXPLOGEL I para los barrenos de cuele, arranque y contorno ya que es ventajoso su utilización para las condiciones del macizo rocoso, su alta capacidad de trabajo y sus propiedades ecológicas.

Las características técnicas son las siguientes:

Explogel I

Tabla 22 *Explogel I: Especificaciones técnicas*

Tamaño (pulg.) (diam. x largo)	N° de cartuchos por caja(kg)	Peso por cartucho (kg)	Peso neto por caja (kg)	Velocidad de detonación* (m/s)	Presion de detonación (Kbar)	Resistencia al agua (horas)
1 ¼x8	108	0.19	20	3300	37.3	2

Tabla 23 *Explogel I: Parámetros*

Parámetros	Unidades	Especificaciones
Densidad	g/cm3	1.37
Volumen de gases	lt/Kg	864.49
Calor de explosión	Kcal/Kg	972.31
Potencial	Kj/Kg	4068.13

Fuente: *Explocen, 2019.*

Mecha de seguridad

Tabla 24*. Mecha de seguridad: Presentación y embalaje*

Producto	Color	Metros/rollo	Peso x rollo (Kg)	Cont. X caja	Peso x caja (Kg)	Revest. Extern.
Mecha de seg.	Negro	500+/- 8	8.5+/- 0.5	1000m+ - 16m 2 rollos	18 +/- 0.5	Polietileno

***Tabla 25**. Mecha de seguridad: Características técnicas*

Parámetros	U. de medida	Especificaciones
Peso por metro lineal.	g/m.	18.8+ - 0.2
Peso de pólvora negra x m.	g/m.	5.5+ - 0.5
Tiempo de combustion a.n.m	s/m.	165+ -10
Alcance mínimo de la chispa	mm.	50 mínimo
Diámetro externo	mm.	4.7+ - 0.1
Resistencia a la tracción	Kg.	35 durante 10 min.
Resistencia al agua.		Exelente

***Fuente:** Explocen, 2019.*

Fulminantes N° 8

***Tabla 26.** Fulminantes: Características técnicas*

Especificaciones técnicas	
Fuerza	N° 8
Longitud de la cápsula (mm)	45
Diámetro externo (mm)	6.3
Insensibilidad al impacto	2 Kg a 90cm
Carga explosiva (mg)	780

***Fuente:** Explocen, 2019.*

6.10. Cálculo de los Parámetros de Perforación y Voladura

a) Cálculo del gasto específico de sustancia explosiva

El gasto específico se calcula en base a datos prácticos y características que hay que tomar en cuenta de la sustancia explosiva y de las propiedades mecánicas de las rocas y las condiciones donde se realiza la explosión.

$$q = q^1 * f° * e * Vg, Kg/m3 \quad (17)$$

$$q = 1 * 1.4 * 1 * 3.57,$$

$$\boldsymbol{q = 4.99\ Kg/m3}$$

Donde:

q = Gasto específico de S.E. por m³

`*q*¹ = Es el gasto específico de sustancia explosiva en dependencia de las propiedades físico mecánicas de la roca. Tomando como referencia el área de la sección trasversal de la galería dureza de la roca y potencia del explosivo.

Para los cálculos del gasto específico se ha tomado como base la tabla 26, donde nos permiten establecer la cantidad de S.E. en función del tipo de roca y además con los resultados de la geomecánica del túnel, estimando un valor de 0.75.

Tabla 27 *Magnitud de carga de sustancia explosiva.*

Características de la roca	Categoría de la roca	Coeficiente de	Magnitud de carga q^1, Kg
Cuarcitas y gneis muy duros	Fuera de categoría	15 - 20	1.2 - 1.5
Cuarcitas, granitos densos, Areniscas y calizas monolíticas	**I**	**15**	**1.0 - 1.1**
Areniscas y calizas densas	II	8	0.7 - 0.8
Esquistos areno arcillosos densos	III	4	0.4 - 0.6
Esquistos arcillosos y carbonatos	IV	2 - 3	0.2 - 0.3
Antracita, carbón de piedra	V	2	0.15

Fuente: *Sosa, 1983.*

f° = Coeficiente de estructura de la roca, que se toma interpolando en la *Tabla 28*.

Tabla 28 *Coeficiente de estructura de la roca*

Características de las rocas	f°
Consolidadas, clásticas y porosas	2
Rocas con fisuramiento menudo	**1.4**
Rocas esquistosas con resistencia variable, estratificación perpendicular a la dirección del hueco	1.3

Fuente: *Sosa, 1983.*

Se ha tomado como factor de *fisuramiento menudo* de acuerdo a las características mecánicas del macizo de los sitios observados y clasificados mediante la geomecánica de la roca que es en este caso.

e: Coeficiente de capacidad de trabajo del explosivo que toma como base la amonita (*Ver tabla 29*).

Tabla 29 *Coeficiente de capacidad de trabajo*

Tipo de sustancia explosiva	e
Amonita No. 1 y No. 2 para material rocoso	0.9
Amonita 62%	**1**
Amonita No. 6 y 7 zhv	1.1
Amonita No. 8 y Pzhv - 20	1.6
Amonita de resguardo Ap - 1, Ap - 2	1.4
Poverita VP - 2	1.3

Fuente: *Sosa, 1983.*

Vg: Coeficiente que toma en cuenta la superficie de la sección de la galería.

$$Vg = \frac{6.5}{\sqrt{S\ proy}} = \frac{6.5}{\sqrt{3.319}} = \mathbf{3.568} \qquad (18)$$

b) Cálculo de la carga total de la sustancia explosiva

$$Qt = Sproy * Lb * q * n. Kg \quad (19)$$

$$Qt = 3.319 * 1.2 * 4.99 * 0.85. Kg$$

$$\boldsymbol{Qt = 16.89\ Kg}$$

Donde:

Qt = Carga total de la S.E., Kg

Sproy = Sección proyecto, m2 = **Sl

Lb = Longitud del barreno, m

q = Gasto específico, Kg/m³

n = Coeficiente de utilización del barreno = 0.85 (Según (Borisov,1976) *n* indica la relación de avance del tajo en una voladura, a la profundidad de los barrenos y establece como regla, el valor *n* es inferior a la unidad y va de 0,85 a 0,9).

6.11. Número de Barrenos en el Frente (Distribución de Carga Explosiva)

$$N = 12.7 \frac{q * Sl}{\gamma * dc^2 * \Delta c} \quad (20)$$

Donde:

q = Gasto específico de S.E.

Sl = Área de la sección transversal.

γ = Grado de carga (70 %)

Δc = Densidad de la S.E. (gr/cm³)

dc = Diámetro del cartucho (cm)

$$N = 12.7 \frac{4.99 * 3.319}{0.7 * 2.8^2 * 1.37}$$

$$\boldsymbol{N = 27.97 barrenos}$$

$$\boldsymbol{N = 28\ barrenos}$$

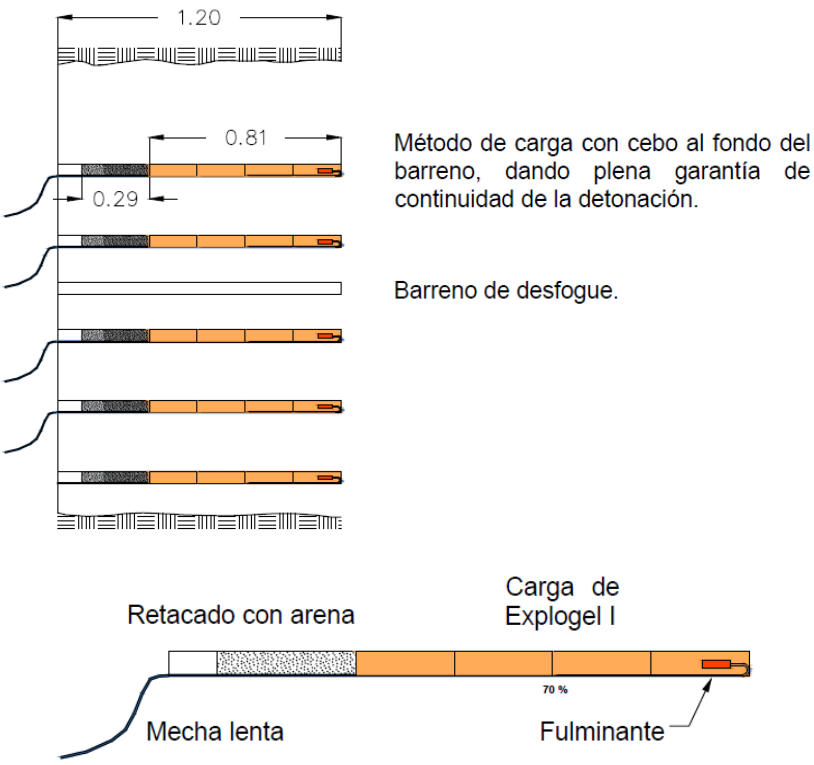


Figura 15: *Esquema de carga.*

Fuente: *El autor.*

6.12. Profundidad de los Barrenos

La profundidad de los barrenos depende de la dureza de la roca y el ancho de la galería (B), de un modo aproximado se puede adoptar la longitud (L).

$$Lb = \frac{B}{2} \qquad (21)$$

$$Lb = \frac{1.9}{2}$$

$$\boldsymbol{Lb = 0.95\ m}$$

Se utilizará barrenos de 1.2 m.

6.13. Distribución de los Barrenos en el Frente

La cantidad de barrenos en cada grupo se determina tomando en cuenta que existen tres grupos de barrenos: barrenos de cuele **(Nc)**; barrenos de arranque o destroza **(Na)**; barrenos de contorno **(Nco)**.La relación entre éstos es:

Nc	Na	Nco
1	a	b

$$Nc = \frac{N * 1}{m} \qquad Na = \frac{N * a}{m} \qquad Nc = \frac{N * b}{m}$$

Donde:

N = Número de barrenos

1 = Relación barrenos de cuele

a = Relación barrenos de arranque o destroza

b = Relación barrenos de contorno

m = Suma de la relación entre éstos

Existen diferentes tipos de relaciones, por ejemplo: 1:1.5:2. En el presente proyecto se utilizará la relación 0.5:1:2; entonces se tiene:

$$m = 1 + a + b \quad (22)$$

$$m = 0.5 + 1 + 2$$

$$\boldsymbol{m = 3.5}$$

$$Nc = \frac{28 * 0.5}{3.5} \qquad Na = \frac{28 * 1}{3.5} \qquad Nc = \frac{28 * 2}{3.5}$$

$$\boldsymbol{Nc = 4} \qquad \boldsymbol{Na = 8} \qquad \boldsymbol{Nc = 16}$$

6.14. Elección del Tipo de Cuele

En las voladuras para túneles existe únicamente una superficie de salida de la roca. Los barrenos de cuele abren el primer espacio, para ello se utilizará mecha lenta con fulminantes número 8; el encendido será en secuencia iniciando desde el centro (cuele), hasta la periferia.

Los barrenos del piso saldrán en último lugar y tendrán mayor cantidad de S.E. ya que deben levantar el volumen de roca volada más la respectiva base y faciliten la carga y desalojo posterior de la roca. Los barrenos de contorno saldrán en penúltimo lugar para evitar que se queden ahogados.

El cuele a utilizar será del tipo: **Cuele de barrenos paralelos**.

6.15. Distribución de Barrenos de Arranque

La distribución de los barrenos de arranque depende del BURDEN, o sea la distancia desde los barrenos de arranque hasta los barrenos de contorno, se la llama también línea de menor resistencia que esta entre 0.15 a 0.45 m en dependencia de la dureza de las rocas.

6.15.1. Perímetro de la sección de los barrenos de arranque.

$$Pe_{arranque} = B + \frac{\pi * B}{2} + 2h \quad (23)$$

Donde:

B = Ancho de la sección de arranque

h = Altura de la pared de la sección para los barrenos de arranque

$$Pe_{arranque} = 1.2 + \frac{\pi * 1.2}{2} + 0.6$$

$$\boldsymbol{Pe_{arranque} = 4.285\ m}$$

6.15.2. Distancia media entre los barrenos de arranque.

$$dm = \frac{Pe_{arranque}}{Na} \quad (24)$$

$$dm = \frac{4.285}{8}$$

$$\boldsymbol{dm = 0.536\ m}$$

6.15.3. Número de barrenos de arranque por el piso.

$$Narr_{piso} = \frac{B}{dm} + 1 \quad (25)$$

$$Narr_{piso} = \frac{1.2}{0.536} + 1$$

$$\boldsymbol{Narr_{piso} = 3.24 = 3\ Barrenos}$$

6.15.4. Distancia entre los barrenos de arranque por el piso.

$$Darr_{piso} = \frac{B}{Narr_{piso} - 1} \quad (26)$$

$$Darr_{piso} = \frac{1.2}{3 - 1}$$

$$\boldsymbol{Darr_{piso} = 0.6\ m}$$

6.15.5. Número de barrenos de arranque por los lados.

$$Narr_{lados} = \frac{h}{dm} \quad (27)$$

$$Narr_{lados} = \frac{0.6}{0.536}$$

$$\boldsymbol{Narr_{lados} = 1.12 = 2\ Barrenos}$$

6.15.6. Distancia entre los barrenos de arranque por los lados.

$$Darr_{lados} = \frac{h}{Narr_{lados}} \quad (28)$$

$$Darr_{lados} = \frac{0.6}{2}$$

$$\boldsymbol{Darr_{lados} = 0.3\ m}$$

6.15.7. Número de barrenos de arranque por el techo.

$$Narr_{techo} = Na - Narr_{piso} - Narr_{lados} \quad (29)$$

$$Narr_{techo} = 8 - 3 - 2$$

$$\boldsymbol{Narr_{techo} = 3\ Barrenos}$$

6.15.8. Perímetro de la sección de arranque por el techo.

$$Pe_{sec.arr.techo} = \frac{\pi * B}{2} \quad (30)$$

$$Pe_{sec.arr.techo} = \frac{\pi * 1.2}{2}$$

$$\boldsymbol{Pe_{sec.arr.techo} = 1.885\ m}$$

6.15.9. Distancia entre los barrenos por el techo.

$$Darr_{techo} = \frac{Pe_{sec.arr.techo}}{Narr_{techo} + 1} \quad (31)$$

$$Darr_{techo} = \frac{1.885}{3 + 1}$$

$$\boldsymbol{Darr_{techo} = 0.471\ m}$$

6.16. Distribución de Barrenos de Contorno

6.16.1. Perímetro de la excavación de la sección transversal del túnel.

$$Pe = B + \frac{\pi * B}{2} + 2h \quad (32)$$

$$Pe = 1.9 + \frac{\pi * 1.9}{2} + 0.95$$

$$\boldsymbol{Pe = 6.785\ m}$$

6.16.2. Distancia media entre los barrenos de contorno.

$$dm = \frac{Pe}{Nco} \quad (33)$$

$$dm = \frac{6.785}{16}$$

$$\boldsymbol{dm = 0.424\ m}$$

6.16.3. Número de barrenos de contorno por el piso.

$$Nco_{piso} = \frac{B}{dm} + 1 \quad (34)$$

$$Nco_{piso} = \frac{1.9}{0.424} + 1$$

$$\boldsymbol{Nco_{piso} = 5.481 = 5\ Barrenos}$$

6.16.4. Distancia entre los barrenos de contorno por el piso.

$$Dco_{piso} = \frac{B}{Nco_{piso} - 1} \quad (35)$$

$$Dco_{piso} = \frac{1.9}{5-1}$$

$$\boldsymbol{Dco_{piso} = 0.475\ m}$$

6.16.5. Número de barrenos de contorno por los lados.

$$Nco_{lados} = \frac{h}{dm} \quad (36)$$

$$Nco_{lados} = \frac{0.95}{0.424}$$

$$\boldsymbol{Nco_{lados} = 2.241 = 2\ Barrenos}$$

6.16.6. Distancia entre los barrenos de contorno por los lados.

$$Dco_{lados} = \frac{h}{Nco_{lados}} \quad (37)$$

$$Dco_{lados} = \frac{0.95}{2}$$

$$\boldsymbol{Dco_{lados} = 0.475\ m}$$

6.16.7. Número de barrenos de contorno por el techo.

$$Nco_{techo} = Nco - Nco_{piso} - Nco_{lados} \quad (38)$$

$$Nco_{techo} = 16 - 5 - 2$$

$$\boldsymbol{Nco_{techo} = 9\ Barrenos}$$

6.16.8. Distancia entre los barrenos de contorno por el techo.

$$Dco_{techo} = \frac{Pe_{techo}}{Nco_{techo} + 1} \quad (39)$$

Donde:

Pe_{techo} = Perímetro de la excavación por el techo

$$Pe_{techo} = \frac{\pi * B}{2}$$

$$Pe_{techo} = \frac{\pi * 1.95}{2}$$

$$\boldsymbol{Pe_{techo} = 2.985\ m}$$

$$Dco_{techo} = \frac{2.985}{9 + 1}$$

$$\boldsymbol{Dco_{techo} = 0.298\ m}$$

6.16.9. Masa de carga total por voladura.

$$Q = q * Sl * Lb \quad (40)$$

$$Q = 4.99 * 3.319 * 1.2$$

$$\boldsymbol{Q = 19.874\ kg\ de\ S.E.}$$

6.16.10. Masa media de carga.

$$qm = \frac{Q}{N} \quad (41)$$

$$qm = \frac{19.874}{28}$$

$$\boldsymbol{qm = 0.710\ kg/barreno}$$

6.17. Gasto Específico de Sustancia Explosiva por Grupo de Barrenos

6.17.1. Carga de los barrenos de cuele.

$$qc = 1.1\ a\ 1.2 * qm \quad (42)$$

$$qc = 1.1 * qm$$

$$qc = 1.1 * 0.710$$

$$\boldsymbol{qc = 0.781\ kg}$$

6.17.2. Número de cartuchos de cuele.

$$N_{cartuchos} = \frac{qc}{masa_{cart}} \quad (43)$$

$$N_{cartuchos} = \frac{0.781}{0.19}$$

$$\boldsymbol{N_{cartuchos} = 4.111 = 4\ cartuchos}$$

6.17.3. Carga de los barrenos de arranque.

$$qa = qc \quad (44)$$

$$\boldsymbol{qa = 0.781\ kg}$$

6.17.4. Número de cartuchos de arranque.

$$N_{cartuchos} = \frac{qa}{masa_{cart}} \quad (45)$$

$$N_{cartuchos} = \frac{0.781}{0.19}$$

$$\boldsymbol{N_{cartuchos} = 4.111 = 4\ cartuchos}$$

6.17.5. Carga de los barrenos de contorno.

$$qcont = qa \quad (46)$$

$$\boldsymbol{qcont = 0.781\ kg}$$

6.17.1. Número de cartuchos de contorno.

$$N_{cartuchos} = \frac{qcont}{masa_{cart}} \quad (47)$$

$$N_{cartuchos} = \frac{0.781}{0.19}$$

$$\boldsymbol{N_{cartuchos} = 4.111 = 4\ Cartuchos}$$

6.17.1.1. *Gasto real de sustancia explosiva por voladura.*

$$Qr = qc * Nc + qa * Na + qcon * Ncon + q_{piso} * N_{piso} \quad (48)$$

$$Qr = 0.781 * 4 + 0.781 * 8 + 0.781 * 10 + 0.781 * 6$$

$$\boldsymbol{Qr = 21.868\ Kg}$$

Tabla 30 *Consumo en pasaporte de perforación y voladura*

Detalle	Número de barrenos	Tipo de Explosivo	Número de cartuchos	Peso (Kg)	Fulminantes		Mecha	
					N°	Cant.	m x barr	(m)
Cuele	4	EXPLOGEL I	16	3.04	8	4	1.6	6.4
Arranque	8	EXPLOGEL I	32	6.08	8	8	1.6	12.8
Contorno	10	EXPLOGEL I	40	7.60	8	10	1.6	16
Piso	6	EXPLOGEL I	24	4.56	8	6	1.6	9.6
Subtotal	28		112	21.28		28		44.8
Vacios	1							
TOTAL	**29**		**112**	**21.28**		**28**		**44.8**

Fuente: *El autor.*

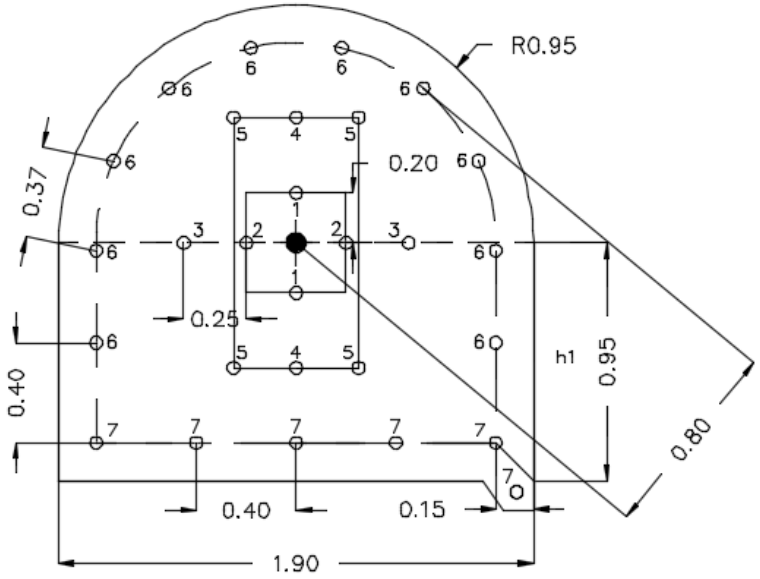


Figura 16: *Diagrama de pasaporte de voladura.*

Fuente: *El autor.*

6.17.1.2. *Método de encendido*

El amarre de la cuña, arranque y contorno, se realizar culminado el proceso de cargado; enganchando en el cordón detonante los broches de los fulminantes número 8 no eléctricos, correspondientes a la cuña, luego se engancha los broches del arranque y posteriormente se engancha los de contorno; los de arranque y contorno. Una vez conectados todos los broches al cordón detonante se procede a empalmar a un extremo

del cordón detonante un fulminante con mecha lenta de seguridad que será encendida; ésta al momento de llegar al fulminante lo hará detonar, lo cual al hacer impacto con el empalme del cordón detonante se producirá inmediatamente la explosión de la cuña, arranque y contorno.

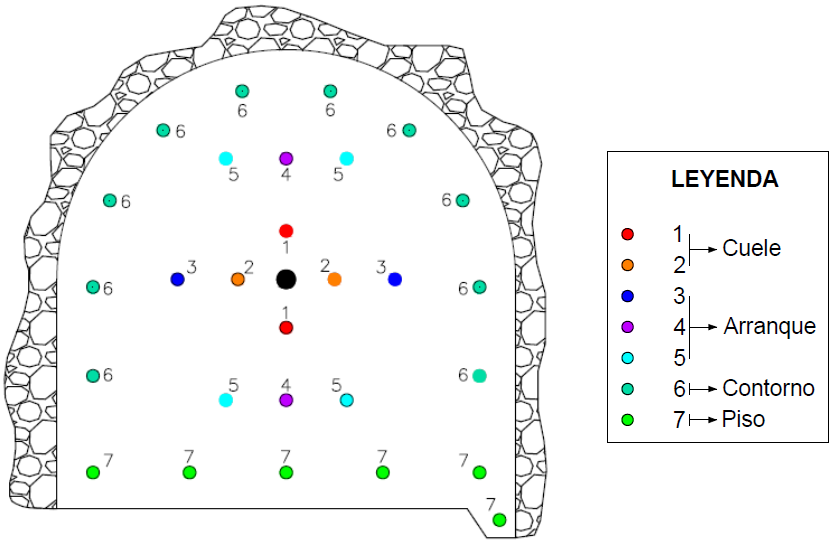


Figura 17: *Secuencia de encendido.*

Fuente: *El autor.*

6.18. Saneamiento

Después de la ventilación del frente se procede a verificar la efectividad de la voladura, para ello se comprueba si existen tiros sin detonar, en caso de existir se procede a liquidarlos con agua a presión por parte de personal calificado, luego se riega las paredes, techo y el frontón para descubrir los pedazos de rocas sueltas que posteriormente se desprenden con la ayuda de una cuña, el tiempo de saneamiento se lo estima de 20 minutos.

6.19. Carga y Transporte

La carga se ejecutará de forma manual con picos y palas donde se carga directamente el material volado a los dos vagones de rueda neumática. Los carros mineros o vagonetas son construidos en los talleres industriales de la localidad.

6.19.1. Capacidad de carro o vagoneta (Vc).

$$Vc = L * H * A * K\ II \quad (49)$$

Donde:

L = Longitud.

H = Altura.

A = Ancho.

$K\ II$ = Coeficiente de llenado (0.8 – 0.9)

$Vc = 1.2 * 0.65 * 0.8 * 0.85$

$Vc = 1.2 * 0.65 * 0.8 * 0.85$

$\boldsymbol{Vc = 0.53\ m^3}$

6.19.2. Transporte.

El transporte del material estéril volado se lo llevará a través de la misma galería de transporte hacia la superficie a través de vagones de capacidad de 0,53 m³ o 1.44 toneladas para luego ser colocado en la escombrera destinada para este fin o en otros casos se lo empleará como lastre para mantenimiento de la vía de acceso.

6.19.2.1. *Volumen de arranque por ciclo*

$$V_{ciclo} = Sl * Lb \quad (50)$$

$$V_{ciclo} = 3.319 * 1.2$$

$$\boldsymbol{V_{ciclo} = 3.983\ m^3}$$

6.19.2.2. *Volumen de roca a transportar por ciclo*

Tomando en cuenta que la roca es Andesita y cuya dureza típica es blanda a media se tomará un factor de esponjamiento de 1.25 a 1.4 (ver *Tabla 31*)

Tabla 31 *Factor de esponjamiento*

Tipo de suelo	Fe
Roca dura (volada)	1.50 - 2.00
Roca media (volada)	1.40 - 1.80
Roca blanda (volada)	**1.25 - 1.40**
Grava, compacta	1.35
Grava, suelta	1.10
Arena, compacta	1.25 - 1.35
Arena, mediana a dura	1.15 - 1.25
Arena, blanda	1.05 - 1.15
Limos	1.00 - 1.10
Limos consolidados	1.10 - 1.40
Arcillas, muy duras	1.15 - 1.25
Arcillas, medianas	1.10 - 1.15
Arcillas, blandas	1.00 - 1.10

Fuente: *Materiales de construcción*

Basados en la tabla se toma un factor de esponjamiento de 1.3 con lo que se tiene:

$$V = V_{ciclo} * Fe \quad (51)$$

$$V = 3.983 * 1.3$$

$$\boldsymbol{V = 5.178\ m^3}$$

6.19.2.3. *Número de vagones a emplear*

$$N_{vagones} = \frac{V}{Vc} \quad (52)$$

$$N_{vagones} = \frac{5.178}{0.53}$$

$$\boldsymbol{N_{vagones} = 9.769\ m^3 = 10\ vagones}$$

6.19.2.4. *Ciclo de trabajo*

Para las labores de excavación se empleará un total de 8 personas, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla 32 *Número de personas por grupo de trabajo*

Cargo	Cantidad
Perforista	2
Ayudante	2
Obreros	4
TOTAL	**8**

Fuente: *El autor.*

El tiempo de duración del ciclo *Tc*, se lo puede determinar de forma simplificada de la siguiente manera:

$$T_c = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 \quad (53)$$

Donde:

T_c = Duración del ciclo (min)

T_1 = Tiempo de perforación (min)

T_2 = Tiempo de carga de S.E. (min)

T_3 = Tiempo de ventilación (min)

T_4 = Tiempo de saneamiento (min)

T_5 = Tiempo de carga (min)

T_6 = Tiempo de ciclo de transporte (min)

Cada tiempo se lo determinará a continuación:

$$T_1 = \frac{N * Lb}{np * Vp} \quad (54)$$

Donde:

N = Número de barrenos (más el barreno de desfogue)

Lb = Longitud del barreno (1.2 m)

np = Número de máquinas perforadoras

Vp = Velocidad de perforación (13 m/h))

$$T_1 = \frac{28 * 1.2}{2 * 13}$$

$$\boldsymbol{T_1 = 1.29\ h = 78\ min}$$

$$T_2 = \frac{N * t'}{n_0} \quad (55)$$

Donde:

N = Número de barrenos (27)

t' = Tiempo de carga de un barreno (2.5 min)

n_0 = Número de personas encargados de la carga (2)

$$T_2 = \frac{27 * 2.5}{2}$$

$$\boldsymbol{T_2 = \ 33.75\, min = 34\, min}$$

T_3 = Tiempo estimado de ventilación. De acuerdo a lo calculado más adelante se considera **10 min**.

T_4 = Tiempo estimado de saneamiento del frente luego de la explosión. Como norma se toma 15 a 20 min; por tanto, se considera **20 min**.

$$T_5 = \frac{V}{N_p * P_p} \qquad (56)$$

Donde:

V = Volumen de material por ciclo (m^3)

Np = Número de personas que realizan la carga (4 personas)

Pp = Productividad de cada persona por hora (2.5 m^3/h)

$$T_5 = \frac{5.178}{4 * 2.5}$$

$$\boldsymbol{T_5 = \ 0.518\, h = 31\, min}$$

Para obtener el tiempo de transporte se consideró la mitad de la longitud del proyecto; a partir de ahí se debe reconsiderar el número de personas y vagones que se utilizará hasta concluir el mismo.

$$T_6 = \frac{l}{V_p} * 2 \qquad (57)$$

Donde:

l = Longitud de transporte (0.6 km)

Vp = Velocidad promedio de transporte (5 km/h)

$$T_6 = \frac{0.6}{5} * 2$$

$$T_6 = \ 0.24\ horas = 14\ min\ por\ viaje$$

De acuerdo al número de vagones calculado, tenemos que se necesitan 10 vagones para el transporte de material; considerando que se tiene 2 vagones, se requiere realizar 5 viajes; con lo cual tenemos:

$$\boldsymbol{T_6 = \ 14 * 5 = 70\ \text{min}\ \ por\ ciclo\ de\ transporte}$$

$$T_c = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6$$

$$T_c = 78 + 34 + 10 + 20 + 31 + 70$$

$$\boldsymbol{T_c = 243\ \text{min} = 4.05\ horas}$$

Considerando 8 horas de trabajo diarias, se considera que se pueden cumplir 2 ciclos de trabajo por cada turno.

6.20. Iluminación

Para la iluminación se instalará una línea de energía de 220 V con su respectiva caja de controles, con ello se mejora el alumbrado en la Galería Principal de Transporte; además se dotará al personal de lámpara frontales de batería recargable con el fin de ayudar a realizar de mejor manera sus labores.

El cálculo del alumbrado se lo realizará por el método de lúmenes.

6.20.1. Cálculo del alumbrado por el método de lúmenes

Datos de campo:

b = Longitud de alumbrado de Galería (1200 m)

a = Ancho promedio de galerías (1.90 m)

h = Altura entre el plano de trabajo y el plano de trabajo de las luminarias (1.90 m)

h' = Altura del plano de trabajo al suelo 0.

d = Altura del plano de trabajo al techo (1.90 m)

d' = Altura entre el plano de trabajo de las luminarias y el techo (0).

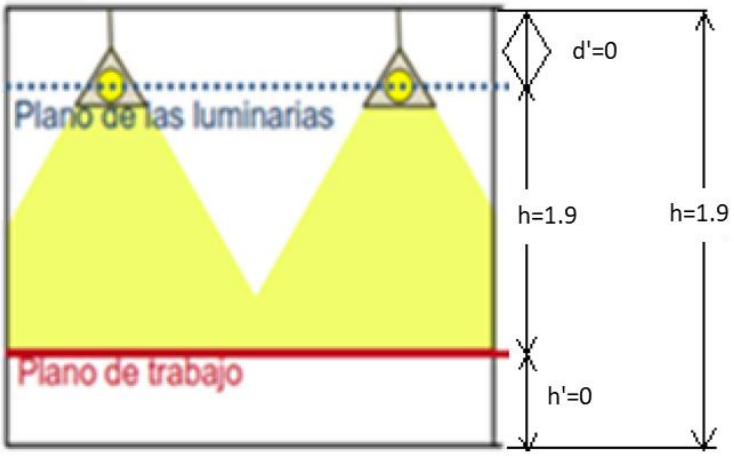


Figura 18: *Esquema de alturas del local.*

Fuente: *Instituto para la diversificación y ahorro de energía. "Cuadernos de Gestión energética municipal" Ed. IDAE. Madrid, 1989.*

6.20.2. Altura de las luminarias

Este valor depende del tipo de actividad que se va realizar en el local. Los valores del nivel de iluminancia media se los puede encontrar tabulados en la Norma Europea UNE-EN 124641:2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo en interior. Esta norma define los parámetros recomendados para los distintos tipos de áreas, tareas y actividades; sus recomendaciones, en términos de cantidad y calidad del alumbrado, contribuyen a diseñar sistemas de iluminación que cumplen las condiciones de calidad y confort visual, y permiten crear ambientes agradables para los usuarios de las instalaciones.

$$d' = d - h \tag{58}$$

$$d' = 1.9 - 1.9$$

$$\boldsymbol{d' = 0\ m}$$

6.20.3. Índice del local (k)

Se lo obtiene a partir de la geometría de éste.

En el caso del método europeo se calcula:

$$K = \frac{3 * a * b}{2 * h * (a + b)} \quad (59)$$

$$K = \frac{3 * 1.9 * 1200}{2 * 1.9 * (1.9 + 1200)}$$

$$\boldsymbol{K = 1.5}$$

6.20.4. Coeficientes de reflexión

Los coeficientes de reflexión son para techo, paredes y suelo. Estos valores se encuentran normalmente tabulados para los diferentes tipos de materiales y superficies. Se los tomará del siguiente cuadro.

Tabla 33 *Factores de reflexión de techo, pared y piso*

	Color	Factores de reflexión
Techo	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	**0,5**
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	**0,3**
	Oscuro	0,1
Suelo	Claro	**0,3**
	Oscuro	0,1

Fuente: *Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo.*

Es así que se tomó 0.5 para el techo; 0.3 para las paredes y 0.3 para el piso.

6.20.5. Factor de utilización (η, Cu)

A partir del índice del local y los factores de reflexión. Estos valores se encuentran tabulados y los suministran los fabricantes. En la *Tabla Nº 21*, se da para cada tipo de luminaria los factores de iluminación en función de los coeficientes de reflexión y el índice del local. Si no se pueden obtener los factores por lectura directa será necesario interpolar.

Tabla 34 *Factor de utilización de luminarias*

Tipo de aparato de Alumbrado	Índice del Local K	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	0.28	0.22	0.16	0.25	0.22	0.16	0.26	0.22	0.16
	1.2	0.31	0.27	0.20	0.30	0.27	0.20	0.30	0.27	0.20
	1.5	0.39	0.33	0.26	0.36	0.33	0.26	0.36	0.33	0.26
	2	0.45	0.40	0.35	0.44	0.40	0.36	0.44	0.40	0.35
	2.5	0.52	0.46	0.41	0.49	0.46	0.41	0.49	0.46	0.41
	3	0.54	0.50	0.45	0.53	0.50	0.45	0.53	0.50	0.45
	4	0.61	0.56	0.52	0.59	0.56	0.52	0.57	0.56	0.52
	5	0.63	0.60	0.56	0.63	0.60	0.56	0.62	0.60	0.56
	6	0.68	0.63	0.60	0.66	0.63	0.60	0.65	0.63	0.60
	8	0.71	0.67	0.64	0.69	0.67	0.64	0.68	0.67	0.64
	10	0.72	0.70	0.67	0.71	0.70	0.67	0.71	0.70	0.67

Fuente: *Norma Europea UNE-EN 12464-1:2003. Iluminación de los lugares de trabajo.*

Factor de utilización = 0.33 $^{\eta}$

6.20.6. Coeficiente de mantenimiento (C_m) o conservación de la instalación

Este coeficiente dependerá del grado de suciedad del ambiente en el que se encuentre trabajando la lámpara, es decir:

Un factor de 0.8 para ambientes limpios y de **0.6** para ambientes sucios.

6.20.7. Flujo luminoso total necesario

Para ello se aplicará la fórmula:

$$\Phi_T = \frac{Em * S}{Cu * Cm} \quad (60)$$

Donde:

Φ_T = Flujo luminoso total.

Em = Iluminancia media deseada = 10 lx

S = Superficie del plano de trabajo

η *Cu* = Factor de utilización

C_m = Factor de mantenimiento = 0.6

$S = a * b$

$S = 1.9 * 1200$

$\boldsymbol{S = 2280\ m2}$

$$\Phi_T = \frac{10 * 2280}{0.33 * 0.6}$$

$\boldsymbol{\Phi_T = 104683.20\ lm}$

6.20.8. Número de luminarias (N)

$$N = \frac{\Phi T}{n * \Phi Ł} \quad (61)$$

Donde:

N = Número de luminarias.

ΦT = Flujo luminoso total

n = Número de lámparas por luminarias.

ΦŁ = Flujo luminoso de una lámpara (foco 220v, 100w, 1250 lm).

$$N = \frac{104683.20}{1 * 1250}$$

$$\boldsymbol{N = 83.75 = 84}$$

Se utilizará 84 luminarias de 100 w instaladas a lo largo de la galería.

La distribución de las luminarias se las realizará de la siguiente manera.

$$e = \frac{b}{N} \quad (62)$$

Donde:

e = Distancia máxima entre luminarias.

$$e = \frac{1200}{84}$$

$$\boldsymbol{e = 14.29\ m = 14\ m}$$

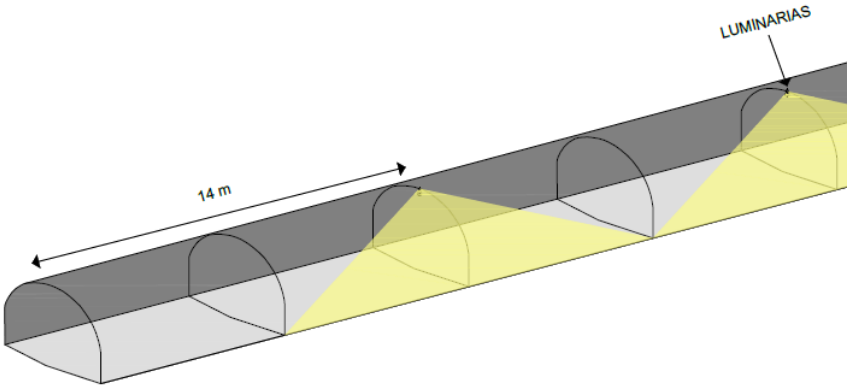


Figura 19: *Distribución de luminarias.*

Fuente: *El autor.*

6.20.9. Consumo de energía

$$\beta = \frac{N * w * t * d}{1000} \quad (63)$$

Donde:

β = Consumo de energía.

N = Número de luminarias.

w = Capacidad en watts (100 w)

t = Tiempo (16 h)

d = Días (30 días)

$$\beta = \frac{84 * 100 * 16 * 30}{1000}$$

$$\boldsymbol{\beta = 4032\ Kwh/mes}$$

6.20.10.Costo de consumo

$$\beta USD = \beta * \rho \quad (64)$$

Donde:

ρ = Costo por Kwh (0.0933 USD)

$$\beta USD = 4032 * 0.0933$$

$$\boldsymbol{\beta USD = 376.19 \text{ USD}}$$

Tabla 35 *Costo de materiales a utilizar en iluminación*

Materiales	Cantidad	Costo	Subtotal
Cable sólido # 0	1200	1.9	2280.00
Focos 220 v	84	1.25	105.00
Boquillas	84	1.25	105.00
Aislantes	30	0.5	15.00
TOTAL		**USD**	**2505.00**

Fuente: *El autor.*

6.20.11.Costo total de iluminación

$$CI = \beta USD + Costo\ materiales \quad (65)$$

$$CI = 376.19 + 2505.00$$

$$\boldsymbol{CI = 2881.19\ USD}$$

Al costo por consumo se le atribuye un 10% más por concepto de cambio y mantenimiento de la galería iluminada.

$$CI = \beta USD * 0.10 \quad (66)$$

$CI = 376.19 * 0.10$

$$\boldsymbol{CI = 413.79\ USD}$$

Costo anual de iluminación:

$CA = 413.79 * 12$

$$\boldsymbol{CA = 4965.48\ USD}$$

6.21. Ventilación

6.21.1. Caudal necesario de aire

El cálculo de la cantidad de aire necesario para la ventilación se la realiza basándose en varios factores, tales como:

- Gasto de sustancia explosiva.
- Extracción mineral de la mina.
- Cantidad de polvo.
- Cantidad de personas que se encuentran en el sector de trabajo.

6.21.2. Cantidad de aire de acuerdo al gasto de sustancia explosiva

$$Q_{SE} = \frac{A * b * \frac{100}{c} * \frac{k}{t}}{60} \quad (67)$$

Donde:

A = Cantidad de sustancia explosiva detonada simultáneamente (21.28 kg)

b = Cantidad convencional de gas carbónico, que se desprende en la voladura por 1 kg de S.E. (0.04 m³)

c = Grado indispensable de la dilución de los productos de la voladura por volumen (0.008%)

t = Tiempo de ventilación después de la voladura (15 – 20 min)

k = Coeficiente de reserva de aire (1.45)

$$Q_{SE} = \frac{21.28 * 0.04 * \frac{100}{0.008} * \frac{1.45}{20}}{60}$$

$$\boldsymbol{Q_{SE} = 12.86\ m^3/seg}$$

6.21.3. Cantidad de aire de acuerdo a la cantidad de personas

$$Qm = \frac{q * n * k}{60} \qquad (68)$$

Donde:

q = Norma de aire para una persona según las normas de seguridad (6m³/min)

n = Cantidad máxima de personas en el frente (8 personas)

$$Qm = \frac{6 * 8 * 1.45}{60}$$

$$\boldsymbol{Qm = 1.16\ m^3/seg}$$

6.21.4. Ventilación de galería

La necesidad de conservar, en el interior de los túneles, una atmósfera respirable y en condiciones óptimas, exige renovar el aire por medio de sistemas de ventilación que eviten que el aire contaminado ponga en riesgo la salud de los trabajadores.

Las condiciones del túnel, el tráfico del mismo, y su longitud, determinarán el sistema de ventilación más oportuno en cada caso.

Los principales objetivos de cualquier sistema de ventilación son:

- Conservar una calidad adecuada del aire.
- Garantizar la visibilidad.
- Controlar los humos en caso de emergencia.
- Proteger a los usuarios.
- Liberar los accesos a los servicios de seguridad y zonas de evacuación.

(Torres Servicios Técnicos, 2019)

6.21.5. Sistema de ventilación

6.21.5.1. *Ventilación mecánica*

Puede efectuarse a través del sistema conocido como ‘de simple flujo’, consistente en la entrada natural del aire y la extracción mecánica del mismo, o bien por el denominado ‘sistema de doble flujo’, que utiliza una extracción y una entrada mecánica del aire.

La característica más importante, en cuanto a la metodología de los sistemas de ventilación mecánica, es su capacidad de alojar y arrojar, de cualquier espacio, la cantidad de aire que se necesite, independientemente de las condiciones de presión y temperatura que presente el aire exterior.

Mediante este tipo de sistema de ventilación el flujo de aire está asegurado y regularizado por el trabajo de un ventilador que se mueve por energía eléctrica, lo cual permite salvar las pérdidas de carga del conducto haciendo que el fluido, normalmente aire, circule por él a una cierta velocidad. (Torres Servicios Técnicos, 2019).

El modelo de ventilador elegido para la ventilación de la galería es un Ventilador Helicoidal Tubular de 18.5 kW con función de impulsión y aspiración con silenciador.

Figura 20: *Ventilador helicoidal tubular.*

Fuente: *Torres servicios técnicos, 2019.*

Características técnicas			
Caudal de aire max:	40.000 m³/h	Diámetro nominal hélice:	630 mm
Presión estática disponible max:	1.100 Pa	Nº de palas:	6 palas
Velocidad de impulsión:	35,6 m/s	Nivel de presión sonora:	68 dB(A)/10m
Velocidad de aspiración:	35,6 m/s	Conexión:	Cetac 63A-5P
Propulsión:	762N/m2	Longitud de cable eléctrico:	1,5m con toma Cetac CEE-63A-5P
Alcance del chorro de aire a 0.5 m/s:	90 m		

Motor eléctrico			
Modelo:	IP55	Fases:	3F
Temperatura máxima de trabajo:	40ºC	Intensidad nominal:	34 A
Potencia:	18,5 kW	Cos fi:	0,87
Tensión:	400 V, 50 Hz	Velocidad:	2.950 r.p.m.

Figura 21: *Características técnicas de ventilador helicoidal tubular.*

Fuente: *Torres servicios técnicos, 2019.*

Las características de este equipo permitirán ventilar la galería hasta 2000 m de longitud. Por la facilidad de instalación, tiempo de duración y con el fin de reducir el rozamiento; el ducto de ventilación elegido para ventilación es tubo PVC de 4", el cual se instalará de acuerdo al avance de los trabajos cada 25 m de avance (5 días) al igual que el equipo de ventilación.

6.21.5.2. *Caudal de aire*

La optimización de los costos en el sistema de ventilación es de vital importancia para valorar los costos operativos a corto, mediano y largo plazo. Inicialmente los costos de instalación serán significativos para la ejecución del proyecto, pero a la poste éste beneficiará en la reducción del tiempo de ejecución de éste, además de garantizar la seguridad del personal de labor.

Basándose en las características técnicas del equipo, se debe calcular el caudal de aire máximo para un diámetro de 4" y así poder estimar el tiempo necesario para ventilación. Sin embargo se tomará la mitad de su capacidad. Entonces tenemos:

$$\mathrm{Qa}\emptyset = \frac{\mathrm{Qa}}{\mathrm{k}\emptyset} \qquad (69)$$

Qa = Caudal de aire máx. (40000 m³/h = 11.11 m³/s). Se tomará la mitad de la capacidad del equipo (5.55 m³/s)

kØ = Coeficiente de diámetro

Ø = Diámetro nominal ventilador (630 mm = 24.80")

Ø' = Diámetro de tubería PVC = 4"

$$k\emptyset = \frac{\emptyset}{\emptyset'}$$

$$k\emptyset = \frac{24.80}{4}$$

$$\boldsymbol{k\emptyset = 6.20}$$

$$Qa\emptyset = \frac{5.55}{6.20}$$

$$\boldsymbol{Qa\emptyset = 0.90\ m^3/s}$$

6.21.5.3. *Tiempo estimado de ventilación*

Analizando la cantidad de aire necesaria de acuerdo al gasto de sustancia explosiva, podemos estimar el tiempo necesario de ventilación mecánica.

$$Tv = \frac{Q_{SE}}{\text{Qa}\emptyset} \qquad (70)$$

$$Tv = \frac{12.86}{0.90}$$

$$\boldsymbol{Tv = 14.29\ s}$$

El tiempo estimado necesario para la ventilación de la galería es de **14 seg**, sin embargo por seguridad se establecerá un tiempo de ventilación de **10 min**, cada **30 min**; lo cual, en un ciclo laboral de 8 horas nos dará un total de **2 h** de ventilación mecánica total.

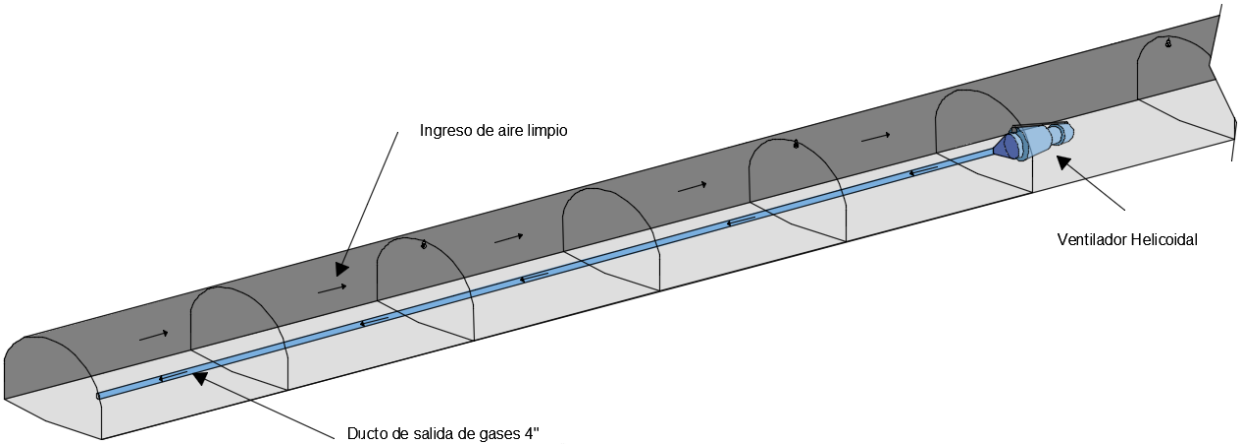


Figura 22: *Diagrama de ventilación.*

Fuente: *El autor.*

6.21.5.4. *Consumo de ventilación mecánica*

Para el consumo energético se tomará en cuenta dos ciclos de trabajo de 8 horas, lo cual nos da un tiempo estimado de ventilación mecánica de 4 horas diarias.

$$\beta = P * t * d \quad (71)$$

Donde:

β = Consumo de energía

P = Potencia del equipo (18.5 kW)

t = Tiempo de ventilación (= 4 h)

d = Días (30 días)

$$\beta = 18.5 * 4 * 30$$

$$\boldsymbol{\beta = 2220\ kW/Mes}$$

6.21.5.5. *Costo de ventilación*

$$\beta USD = \beta * \rho \quad (72)$$

Donde:

ρ = Costo de kW/h

$$\beta USD = 2220 * 0.0933$$

$$\boldsymbol{\beta USD = 207.13 \ al \ mes.}$$

$$\boldsymbol{\beta USD = 2485.56 \ anual.}$$

Para solventar la caída de tensión para la instalación del sistema de ventilación como el sistema de iluminación se utilizará un transformador reversible de 40 kva trifásico 230-400v de 50-60 hz.

Figura 23: *Transformador reversible de 40 kva trifásico.*

Fuente: *Zuendo, 2019.*

Tabla 36 *Costo de equipos y materiales de sistema de ventilación*

Equipos y materiales	Cantidad	Costo	Subtotal
Ventilador helicoidal	1	2500	2500
Transformador 40 KVA	1	1200	1200
Tubo PVC 4" x 6m	200	5.2	1040
TOTAL		**USD**	**4740**

Fuente: *El autor.*

6.22. Desagüe

La galería se franqueara con una gradiente de 3 x 1000, fuera de la misma se encontrara un estanque que cumplirá las funciones de sedimentación como medida ambiental.

6.23. Costos de Construcción de Galería

Tabla 37 *Gastos en sueldo de personal*

Sueldos del personal a emplear			
Cargo	**Número**	**Sueldo/mes USD**	**Subtotal USD**
Perforador	4	900	3600
Ayud. Perfor.	4	500	2000
Obreros	9	450	4050
Topógrafo	1	800	800
Bodeguero	1	360	360
Conductor	1	450	450
Cocinero	1	450	450
Jefe de mina	1	1500	1500
Auxiliar camp	1	500	500
Mecánico	1	600	600
		Total / mes	***14310***
		Total * 8.3 meses	**118773**

Fuente: *El autor.*

Tabla 38 *Cuadro de costo de arranque*

Costo de Arranque en el Frente				
Detalle	**# barrenos**	**kg S.E./m/u**	**Precio**	**Subtotal**
Explogel I	28	21.28	5.26	111.93
Mecha	28	44.80	0.70	31.36
Fulminante Nº 8	28	28	0.35	9.80
		Total * 1.20 avance/disp.		153.0928
		Total * 1000 disp.		**153092.8**

Fuente: *El autor.*

Tabla 39 *Cuadro total de costos*

Cuadro de Costos Totales	
Detalle	**Costo / 8.3 meses**
Personal	118773.00
Explosivos Arranque	153092.80
Instalación de Iluminación	2505.00
Costo de iluminación	3434.46
Instalación de ventilación	4740.00
Costo de ventilación	1719.18
Materiales y herramientas	15000.00
Total	**299264.44**

Fuente: *El autor.*

Los gastos contemplados en este proyecto investigativo, reflejan el costo de una obra civil. Los costos anexos como seguridad, ambiente, etc., son de responsabilidad del titular minero.

7. Discusión

En el sector de San Gerardo existen estudios preliminares producto de la actividad minera desarrollada a nivel artesanal o pequeña minería en vetas, 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.

La geología se corrobora en aspectos tales como la geología regional (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.

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.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

De acuerdo al levantamiento geotécnico de campo se determinó la existencia de tres sets de familias cuyos datos estructurales mantienen el sentido preferencial de la veta NE, y un buzamiento definido hacia el sureste, además las características geomecánicas de la andesita otorgarán a la excavación las condiciones idóneas, para no implementar un tipo de sostenimiento, considerando además que el estudio geomecánico se lo realizó en una galería construida en la cota 1634 m.s.n.m.m., mientras que la cota de diseño es 1386 m.s.n.m.m.; tomando en cuenta que la diferencia de nivel es 248 m se espera que las características geomecánicas sean más favorables.

Se franqueará la galería en una distancia de 1200 metros, conforme las características del macizo se utilizará el método de perforación y voladura como método de arranque del macizo rocoso, toda la galería se franqueará en estéril, tomando en cuenta que aproximadamente entre 1000 y 1200 metros se cortará la mineralización de la veta Oro Sol.

El diseño de la galería de transporte, así como el sistema de iluminación y ventilación, se lo realizó considerando el tiempo de vida útil de la misma, que tomando en cuenta la altura del cuerpo mineralizado como su buzamiento se estima en aproximadamente 10 años.

8.2. Recomendaciones

Previo a iniciar el franqueo de la Galería se deberá abordar un estudio geológico más a detalle con la finalidad de determinar las reservas probadas, probables y posibles que puedan encontrarse en el mismo bloque, únicamente como corroboración en vista que al momento ya se encuentran explotando en el nivel 2.

Se debe considerar a futuro en el proceso de explotación, optimizar el sistema de transporte que permitan mejorar los tiempos en el mismo.

Mantener un constante control del stress minero.

9. Revisión Bibliográfica

Libros

Annels, A.E. (1991). *Mineral deposit evaluation: A practical approach*. Chapman & Hall.

Barton, Lien, & Luden. (1974). Engeneering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support.

Barton, N. R. (1971). *A relationship between joint roughness and joint shear strength. Symposium Society International Mécanique de Roches*, (págs. 1-8). Oslo.

Blanco T., R. (1988). *Laboreo de excavaciones subterráneas.* Editorial Pueblo y Educación.

Bieniawski, ZT. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications.* Wiley. New York

Camargo, J. A. (2004). *Manual de Geología Estructural.* Bogotá: Universidad Surcolombiana.

Cornot Borisov y Klokov Cornot, (1976). Labores Mineras. (Traducido al español por V. Grekov.). Rusia: Editorial MIR.

De Sitter, L. U. (1976). *Geología Estructural.* Barcelona – España. Editorial Omega

Diez, O. P. (2005). *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil.*

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.

Gavilánes, 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.

Guilbert, J., & Park, C. (1986). *The Geology of are deposits freeman.*

Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering*. British Columbia.

Lunar, R., & Oyarzun, R. (1991). *Yacimientos Minerales: Técnicas de estudio, tipos evolución metalogénica, exploración*. Centros de Estudios Ramón Areces.

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.

Mendívil, J. (2002). *Naturaleza en Aragón*. España.

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 Education.

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.

Rodríguez P., J. (2009). *Vienen por el oro, vienen por todo*. Fundación Centro de Integración, Comunicación, Cultura y Sociedad (1ª edición). Argentina: Ediciones CICCUS. ISBN 978-987-9355-98-5

Smirnov, V. (1982). *Geología de Yacimientos Minerales.*

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.

Vidal (1998). *Explotación de minas*. México DF, México: Editorial Omega.

Web

García i. (s.f.) "Contaminación por actividades mineras". Recuperado el 08 de julio de 2019 de http://edafologia.ugr.es/conta/tema16/introd.htm

Ishareslide (s.f.). "Teoría de Terzaghi". Recuperado el 05 de agosto de 2019 de https://ishareslide.net/view-doc.html?utm_source=teoria-de-terzaghi-docx

Sonami (2012). "Etapas del proceso productivo de una mina". Recuperado de https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/04/01.-Etapas-del-Proceso-Productivo-de-una-Mina.pdf

Torres Servicios Técnicos, 2019. Recuperado de https://www.tstservicios.com/noticias/ventilacion-de-tuneles/

Zuendo (2019). Recuperado de https://www.zuendo.com/transformadores/3209-autotransformador-reversible-40-kva-trifasico-230-400v-sevein.html

ANEXOS

Anexo 1.

***Tabla 40**. Parámetros de Valoración del RMR de Bieniawski*

A. Parámetros de clasificación con sus valores									
Parámetros			***Rango de Valores***						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (ls)	>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	>25 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 rocas ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas, con separación < 1mm. Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5mm 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	.10-15	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	-80

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					
Tipos 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	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Ángulo de fricción del macizo rocoso (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<16

E. Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades					
Longitud (Persistencia) *Puntaje*	< 1 m 6	1 - 3 m 4	3 - 10 m 2	10 - 20 m 1	> 20 m 0
Separación (Abertura) *Puntaje*	Ninguna 6	< 0.1 mm 5	0.1 - 1.0 mm 4	1 - 5 mm 1	> 5 mm 0
Rugosidad *Puntaje*	Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente Rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0
Relleno *Puntaje*	Ninguno 6	Duro < 5 mm 4	Duro > 5 mm 2	Blando < 5 mm 2	Blando > 5 mm 0
Meteorización *Puntaje*	Inalterada 6	Ligeramente meteorizada 5	Moderadamente meteorizada 3	Altamente meteorizada 1	Descompuesta 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: Bieniawski, ZT. (1989).

Anexo 2.

Tabla 41. *Sostenimiento según del RMR de Bieniawski*

Clase de macizo rocoso	Excavación	Sostenimiento		
		Pernos (ø 20 mm, adhesión total)	Hormigón lanzado	Marcos de acero
Roca muy buena I RMR: 81-100	Avances de 3 m a sección completa	Generalmente no se necesita sostenimiento, excepto algunas anclas para refuerzo local.		
Roca buena II RMR: 61 - 80	Avances de 1.0 a 1.5 m a sección completa. Sostenimiento total a 20 m del frente.	Pernos locales en el techo, 3 m de largo y espaciado de 2.5 con malla ocasional.	50 mm en el techo donde fuera necesario.	No
Roca Regular III RMR: 41 - 60	Media sección y blanqueo, progresiones de 1.5 a 3.0 m en la media sección. Sostenimiento primario después de cada voladura. Sostenimiento completo a 10 m del frente.	Empernado sistemático de 4 m de largo; espaciado de 1.5 a 2 m en el techo y paredes con malla en el techo.	50 - 100 mm en el techo. 30 mm en las paredes.	No
Roca mala IV RMR: 21 - 40	Media sección y blanqueo, progresiones de 1.0 a 1.5 m en la media sección. Hay que instalar los refuerzos conforme el avance, a 10 m del frente.	Empernado sistemático de 4 a 5 m de largo con espaciado de 1 a 1.5 m en el techo y paredes con malla.	100 a 150 mm en el techo y 100 mm en las paredes.	Marcos ligeros a medianos separados 1,5 m, donde haga falta.
Roca muy mala V RMR: < 20	Etapas múltiples. A veces de 0.5 a 1.5 m en la media sección. Instalación del sostenimiento a medida que se excava. Hormigón lanzado con la mayor brevedad después de las voladuras.	Empernado sistemático de 5 a 6 m de largo, espaciado de 1-1.5 m en la clave y paredes con malla. Instalación de pernos en el piso o contrabóveda.	150 a 200 mm en el techo. 100 mm en las paredes y 50 mm en la frente.	Marcos medianos a pesados espaciados a 0.75 m con tablestacado donde se necesite.

Fuente: *González de Vallejo, L., Ferrer, M., Otuño, L., & Oteo, C. (2002).*

Anexo 3. Tablas de Valoración de la Q de Barton

Tabla 42. Valores del índice de diaclasado (J_n)

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

***Fuente**: Barton, Lien, & Luden. (1974).*

Tabla 43. Valores de rugosidad de las discontinuidades (J_r)

	DESCRIPCIÓN	Jr
A	Diaclasas discontinuas	**4**
B	Rugosas e irregulares, onduladas	**3**
C	Lisas, Onduladas	**2**
D	Lustrosas Ondulantes	**1.5**
E	Rugosas o irregulares, planares	**1.5**
F	Lisas, Planares	**1**
G	Lustrosas, Planares	**0.5**
Notas: La descripción se refiere a escalas pequeñas e intermedias, en ese orden		
H	Zona conteniendo arcillas en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	**1**
J	Zona de material arenoso en cantidad suficiente como para impedir el contacto entre las superficies que limitan la fractura	**1**
Notas: En los grupos A hasta G, el contacto entre las superficies de la discontinuidad se logra con desplazamientos de cizalla inferiores a los 10 cm. Las descripciones se refieren a las características de pequeña escala y características de escala intermedia, en ese orden.		
En los grupos H y J no se produce contacto entre las superficies al ocurrir desplazamientos de cizalla. *Agregar 1.0 cuando el espaciamiento medio de las diaclasas fuera superior a 3 cm *Jr=0.5 puede ser usado para juntas planares lustrosas que tienen alineaciones, siempre que las alineaciones están orientadas para la resistencia mínima.		

***Fuente**: Barton, Lien, & Luden. (1974).*

Tabla 44. Valores de alteración de las discontinuidades (J_a)

FACTOR DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		
DESCRIPCIÓN		**Ja**
a) Contacto entre superficies de la discontinuidad (sin relleno de mineral, solo recubrimientos)		
A	Ajustadas, rellenas con material compacto	0.75
B	Superficies inalteradas, ligeras manchas de oxidación	1
C	Superficies ligeramente alteradas, cubiertas con material granular no arcilloso, producto de la desintegración de la roca.	2
D	Capas superficiales de material limoso o arcilloso arenoso, con una pequeña fracción cohesiva.	3
E	Capas superficiales de arcilla (caolinita, mica cloritas, etc.) cantidades pequeñas de arcilla expansiva en capas de 1- 2 mm de espesor	4
b) Contacto entre superficies de la discontinuidad se produce después de 10cm de (relleno de mineral fino)		
F	Relleno granular no cohesivo, roca desintegrada libre de partículas arcillosas	4
G	Material con alto grado de consolidación, relleno continuo (hasta de 5mm. de espesor) de material arcilloso completo	6
H, I	Relleno continuo (hasta de 5mm. De espesor) de material arcillosos compacto con bajo grado de consolidación	8
J	Relleno continuo de arcilla expansivas (Montmorillonita) el valor de Ja dependerá del % de expansión, el tamaño de las partículas arcillosas, la accesibilidad del agua, etc.	8 - 12
c) No contacto entre superficies de la discontinuidad después de cizalla relleno de mineral grueso)		
K,L. M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y	6 - 8 ó
	arcilla (ver G,H,J para la descripción de los tipos de arcilla)	8 - 12
N	Zona de arcilla limosa o arenosa	5
O,P,Q	Zonas potentes y continuas de arcilla (ver G,H,J para la	10 - 13 ó
	descripción de los tipos de arcilla)	13 - 20.

***Fuente**: Barton, Lien, & Luden. (1974).*

Tabla 45. Índice reductor por la presencia de agua (J_w)

	DESCRIPCIÓN	Jw
A	Secas o flujos bajos (5 l/min)	**1**
B	Flujos a presiones medias que ocasionen erosión del material de relleno	**0.66**
C	Flujos o presiones altas en roca competente con diaclasas sin relleno	**0.5**
D	Flujos a presiones altas con erosión considerable del material de relleno	**0.33**
E	Flujos o presiones excepcionalmente altas luego de la voladura disminuyendo con el tiempo	**0.2 - 0.1**
F	Flujos o presiones excepcionalmente altas sin que ocurra una disminución en el tiempo	**0.1 - 0.05**

***Fuente**: Barton, Lien, & Luden. (1974).*

Tabla 46. Valores de reducción por tensiones (SRF)

	DESCRIPCIÓN			SRF
a) Las zonas débiles interceptan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de rocas a medida que la excavación del túnel va avanzando				
A	Muchas zonas débiles de arcilla con evidencias de desintegración química, roca circundante muy suelta cualquier profundidad.			**10**
B	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad menor 50 m)			**5**
C	Zona débil aislada con arcilla o roca desintegrada, profundidad mayor 50m			**2,5**
D	Muchas zonas de falla en roca competente, roca circundante suelta (cualquier profundidad)			**7,5**
E	Zona de falla aislada en roca competente menor a 50m			**5**
F	Zona de falla aislada en roca competente mayor a 50m			**2,5**
G	Diaclasas abiertas y sueltas roca intensamente fracturada, en terrones, cualquier profundidad.			**5**
Nota: Reducir estos valores de SRF por 25-50% si las zonas de fallas influyen pero no intersectan la excavación.				
b) Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas		σc/σ1	σθ/σ1	SRF
H	Tensiones bajas, poca profundidad, diaclasas abiertas	>200	<0.01	2,5
J	Tensiones moderadas, condiciones tensionales favorables	200-10	0.01-3	1
K	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0.3-0.4	0.5-2

L	Lajamiento moderado de la roca después de 1 hora en rocas masivas	**5-3**	**0.5-0.65**	**5-50**
M	Lajamiento y estallido de la roca después de pocos minutos en rocas masivas	3-2	0.65-1	50-200
N	Estallidos violentos de roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	<2	>1	200-400
Nota: Para campos insitu fuertemente anisotrópico (si se ha medido); cuando 5<=σ1, σ3<=10, reducir σc en 0,75 σc, cuando σ1/ σ3>10, reducir σc a 0,5 σc, donde σc es el esfuerzo compresivo sin confirmar, σ1 y σ3 son los esfuerzos principlaes mayores y menores y σθ=esfuerzo tangencial máximo (estimado de la teoría de la elasticidad). Existen algunos registros disponibles que señalan que la altura del techo de la excavación a superficie es mejor que el ancho de la labor. Para estos casos se sugiere incrementar de 2.5 a 5 para estos casos (ver H)				
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente a altas presiones litostáticas		σθ/σc		SRF
O	Presión de deformación suave	1 – 5		5 – 10
P	Presión de deformación intensa	>5		10 - 20
Nota: Casos de deformaciones de roca pueden ocurrir para profundidades H>350*Q^(1/3). La resistencia a la compresión de la masa rocosa puede ser estimada como q=7*r*Q^(1/3), donde r= densidad de la roca (gm/cc)				
d) Rocas expansivas: Actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua				
R	Presión de expansión suave			5 -10
S	Presión de expansión intensa			10 - 15

***Fuente**: Barton, Lien, & Luden. (1974).*

Anexo 4. Cartografía Temática

Anexo 4.1. Mapa De Ubicación Y Acceso

Anexo 4.2. Mapa Topográfico Y De Geología Local

Anexo 4.3. Mapa De Labores Mineras Y Diseño De Galería De Transporte

Anexo 4.4. . Plano De Pasaporte De Perforación Y Voladura, Esquema De Carga De Barrenos Y Secuencia De Encendido.

Anexo 4.5. Plano De Sistema De Iluminación

Anexo 4.6. Plano de Sistema De Ventilación

Anexo 5. Fichas De Levantamiento Geológico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-1	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651009	9662982	1424
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Herbáceo		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	x	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

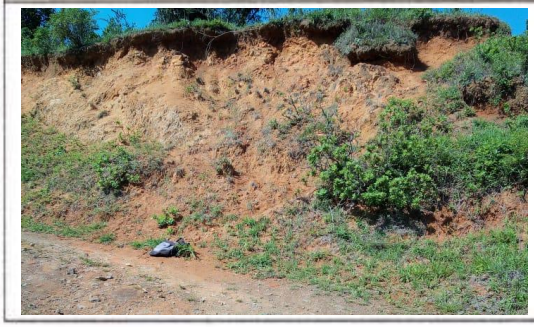
Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

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 ( )

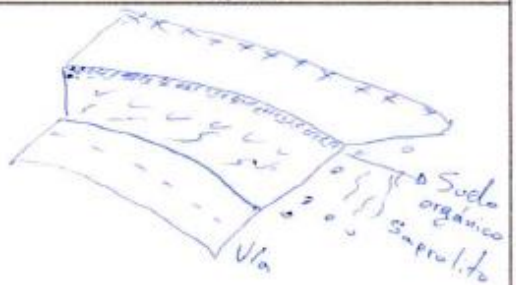
Grado de meteorización	Sana ( )	Algo meteorizado ( )	Moderadamente meteorizado ( )	Muy meteorizado ( )	Completamente meteorizado (x)	Suelo Residual ( )

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

FOTO



ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA

Capa de saprolito andesítico, con la presencia de vegetación en la pared del talud, la cual ha causado el grado actual de meteorización del talud, combinado con el agua y viento

OBSERVACIONES

Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-2	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651112	9662824	1393
Tipo afloramiento	Natural		
Vegetación	Arbórea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

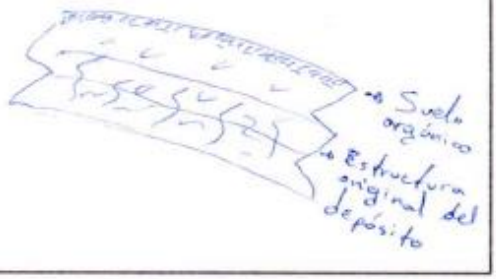
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña (X)	Muy blanda. Navaja ( )	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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

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

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Saprolito con pequeños remanente de roca andesítica, aún se puede observar la estructura del depósito lavítica

OBSERVACIONES: Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-3	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651112	9662824	1443
Tipo afloramiento	Natural		
Vegetación	Herbácea		

LITOLOGÍA	GÉNESIS					
	ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
	Plutónica		Foliada		Clásticas	
	Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
	Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

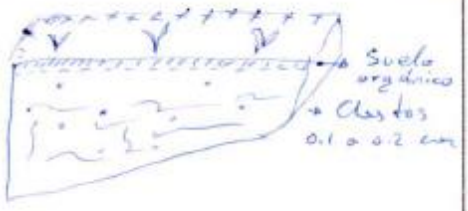
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja (X)	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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 ( )

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA Presencia de suelos lateríticos de 50 cm, suprayacente se encuentra el típico material saprolítico con algunos clastos con diámetro 0.1 a 0.2 cm de composición andesítica.

OBSERVACIONES Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-4	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**: 651298	**Y**: 9662687	**Z**: 1506
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Arbórea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

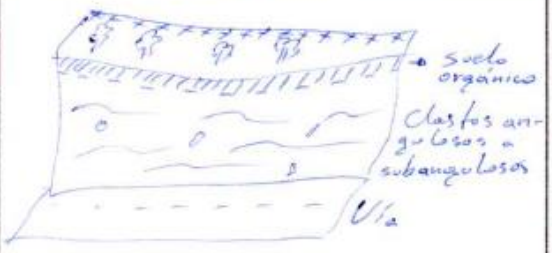
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja (X)	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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 (X)	Goteo ( )	Flujo ( )

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Saprolito andesítico con una potencia estimada de 3 m, presenta algunos clastos de formas angulosas a subangulosas con dimensiones centimétricas

OBSERVACIONES: Punto de control

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-5	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651486	9662596	1801
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Herbáceas, invernas		

LITOLOGÍA

GÉNESIS				
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO
Plutónica		Foliada		Clásticas
Volcánica	X	No foliada		No clásticas
Hipoabisal				

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

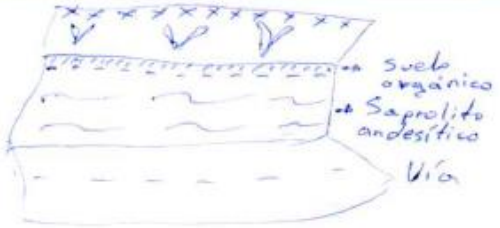
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja ( )	Blanda. Punta de martillo (X)	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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) (X)	Húmedo ( )	Goteo ( )	Flujo ( )

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Saprolito andesitico con la presencia de arcillas claras, sobre esta capa se deposita un tipo de suelo lateritico conjugado con una fina capa de suelo orgánico.

OBSERVACIONES: Punto de control

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-6	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	X: 651448	Y: 9662451	Z: 1552
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Herbácea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

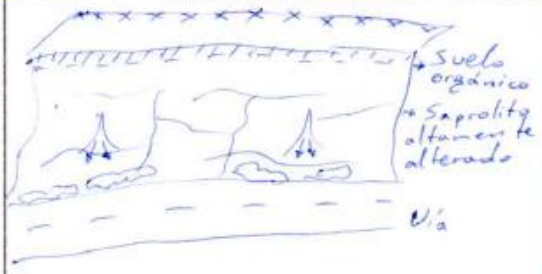
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña (X)	Muy blanda. Navaja ( )	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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

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

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Saprolito andesítico sumamente alterado, al pie del talud se hallan los restos de material acumulado producto de pequeños flujos.

OBSERVACIONES: Punto de control

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-7	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651663	9662595	1704
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Herbácea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

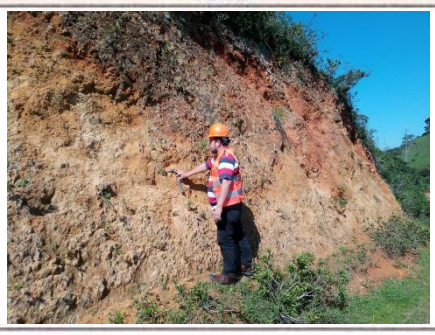
Tipo de Estructura	Diaclasado	**Datos estructurales**	Az = 082°/31° SE

Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja ( )	Blanda. Punta de martillo (X)	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

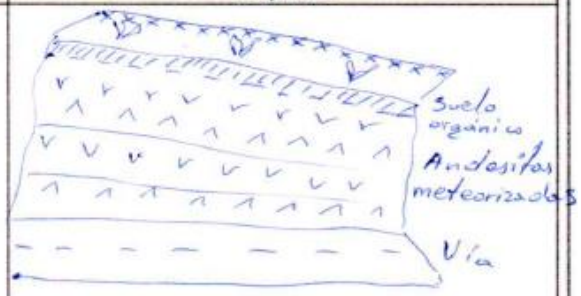
Grado de meteorización	Sana ( )	Algo meteorizado ( )	Moderadamente meteorizado ( )	Muy meteorizado (X)	Completamente meteorizado ( )	Suelo Residual ( )

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

FOTO



ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA Se evidencia capas de andesita medianamente meteorizadas con una orientación preferencial hacia el NE, sobre las paredes del talud una ligera a mediana oxidación, la tonalidad en roca fiende a verdosa, mientras que en las partes más meteorizadas tiende de rojiza a clara.

OBSERVACIONES Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-8	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**: 651891	**Y**: 9662689	**Z**: 1662
Tipo afloramiento	Natural		
Vegetación	Arbórea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	✓	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	Az = 074°/30° 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 ( )	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

DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Roca andesítica medianamente meteorizada, con tonalidades grises a verdosas, las paredes se encuentran cubiertas por una fina capa de arcilla, producto de flujos y la acción vegetal. Esta estructura posee una orientación preferencial hacia el NE y en bajo grado de inclinación hacia el SE

OBSERVACIONES: Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-9	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651948	9662502	1691
Tipo afloramiento	Antrópico		
Vegetación	Herbáceo		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura	Diaclasado	**Datos estructurales**	Az = 076°/28° SE

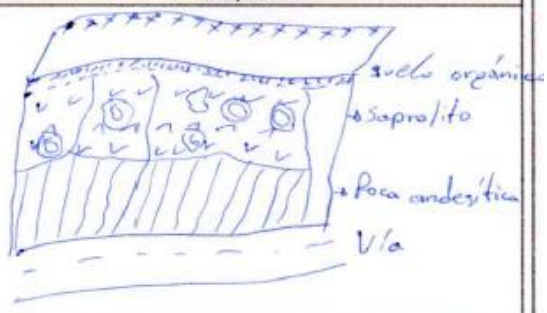
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja ( )	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo (X)	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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

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

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Afloramiento distribuido en 2 capas, la primera se evidencia un saprolito con algunas concreciones, la potencia estimada es de 4 m.; la segunda capa es de roca andesítica con un grado medio de alteración, presenta fracturidades grises y se halla cubierta por una capa fina de arcillas derivadas del saprolito por la erosión.

OBSERVACIONES: Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-10	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	651879	9662307	1648
Tipo afloramiento	Natural		
Vegetación	Herbáceo		

LITOLOGÍA

GÉNESIS					
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

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 (X)	Goteo ( )	Flujo ( )

FOTO

ESQUEMA

DESCRIPCIÓN LITOLOGICA: Afloramiento de saprolito presenta arcillas lateríticas producto de la fuerte meteorización y erosión, se han provocado pequeños desprendimientos de material.

OBSERVACIONES: Punto de control

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-11	**Responsable**	William J.					
Sector Referencial								
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**					
	652161	9662311	1691					
Tipo afloramiento	Antrópico							
Vegetación	Herbácea							

LITOLOGÍA	**GÉNESIS**					
	ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
	Plutónica		Foliada		Clásticas	
	Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
	Hipoabisal					

Tipo de Estructura	Diaclasado	**Datos estructurales**	Az= 080°/24° 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 ( )	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 LITOLOGICA Andesita moderadamente meteorizada, presenta coloraciones verdosas a claras y su orientación preferencial es al NE; en pequeñas partes del talud existen materia vegetal que esta provocando la generación de suelos, presenciado en el pie del talud. En la cabeza del talud hay remantes de concreciones

OBSERVACIONES Ninguna

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
INGENIERÍA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
FICHA PARA DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS

PROYECTO	"DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Código de Afloramiento	A-12	**Responsable**	William J.
Sector Referencial			
Coordenadas de ubicación PSAD 56	**X**	**Y**	**Z**
	652055	9662181	1664
Tipo afloramiento	Natural		
Vegetación	Arbórea		

LITOLOGÍA

GÉNESIS				
ÍGNEO		METAMÓRFICO		SEDIMENTARIO	
Plutónica		Foliada		Clásticas	
Volcánica	X	No foliada		No clásticas	
Hipoabisal					

Tipo de Estructura		**Datos estructurales**	

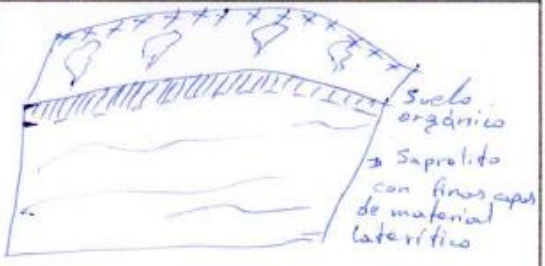
Resistencia de la matriz rocosa	Extremadamente blanda. Uña ( )	Muy blanda. Navaja (X)	Blanda. Punta de martillo ( )	Media. 1 Golpe de martillo ( )	Dura. + 1 Golpe de martillo ( )	Muy dura. Varios golpes ( )	Extremadamente dura. Solo raya con martillo ( )

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 (X)	Goteo ( )	Flujo ( )

FOTO

ESQUEMA



DESCRIPCIÓN LITOLOGICA Saprolito andesítico con finas capas de material laterítico, por la forma del talud se deduce que su origen ha sido producido por un deslizamiento a nivel local.

OBSERVACIONES Punto de control

Anexo 6. Fichas Levantamiento Geotécnico

Tabla 47. *Estación Geotécnica 1*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca: Andesita
Realizado por: William Jiménez
Sitio de Observaciones: 0 + 50

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50	37.44	.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	82**
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo	N85E	Buzamiento	38SE	T. Discont.	Veta
Sistema 2	Rumbo	N76E	Buzamiento	32SE	T. Discont.	Diaclasa
Sistema 3	Rumbo	N45O	Buzamiento	76SO	T. Discont.	Diaclasa

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m	0.8	0.7	
Moderado	0.20 a 0.60 m			0.4
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DE AGUA

Flujo por 10 m de longitud únel

Presión de Agua

CONDICIONES GENERALES

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Seco			
Húmedo	X	X	X
Mojado			
Goteo			
Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m		0.8	0.8
Baja	1 - 3 m	2.5		
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	0.4	0.1	0.1
Moderada	0.5 - 2.5 mm			
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas				
Rugosas			X	X
Ligeramente Rugosas		X		
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave	D	D	D
Espesor	>5mm o < 5mm	<5	<5	<5
Resistencia compresión simple				
Flujo				
ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES				
Fresca				
Ligeramente alterada				
Moderada		X	X	X
Fuerte				
Descompuesta				

OBSERVACIONES:
* Tomado del valor RCS (Tabla 1, Anexo 4)
** Valor de Jv = 10

Tabla 48. *Estación Geotécnica 2*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca: Andesita
Realizado por: William Jiménez
Sitio de Observaciones: 0 + 55

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50	37.44	.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	75**
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo	N82E	Buzamiento	31SE	T. Discont.	Veta
Sistema 2	Rumbo	N70E	Buzamiento	33SE	T. Discont.	Diaclasa
Sistema 3	Rumbo	N40E	Buzamiento	70SO	T. Discont.	Diaclasa

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m		0.8	1.1
Moderado	0.20 a 0.60 m	0.6		
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DE AGUA

Flujo por 10 m de longitud únel

Presión de Agua

CONDICIONES GENERALES

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Seco			
Húmedo	X	X	X
Mojado			
Goteo			
Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m			
Baja	1 - 3 m	1.1	2	2.5
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm		0.01	
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	0.1		0.3
Moderada	0.5 - 2.5 mm			
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas		X		
Rugosas			X	X
Ligeramente Rugosas				
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave	D	D	D
Espesor	>5mm o < 5mm	<5	<5	<5
Resistencia compresión simple				
Flujo				
ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES				
Fresca				
Ligeramente alterada		X	X	X
Moderada				
Fuerte				
Descompuesta				

OBSERVACIONES:
* Tomado del valor RCS (Tabla 1, Anexo 4)
** Valor de Jv = 12

***Tabla 49**. Estación Geotécnica 3*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca: Andesita
Realizado por: William Jiménez
Sitio de Observaciones: 0 + 60

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50	37.44	.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	85**
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo	N60E	Buzamiento	30SE	T. Discont.	Veta
Sistema 2	Rumbo	N81E	Buzamiento	34SE	T. Discont.	Diaclasa
Sistema 3	Rumbo	N20O	Buzamiento	48SE	T. Discont.	Diaclasa

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m			0.8
Moderado	0.20 a 0.60 m			
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.09	0.09	
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DE AGUA

Flujo por 10 m de longitud únel / Presión de Agua

CONDICIONES GENERALES	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Seco			
Húmedo	X	X	X
Mojado			
Goteo			
Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m			
Baja	1 - 3 m	1.1	2.5	2.2
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		0.2	0.3
Moderada	0.5 - 2.5 mm	0.6		
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas				
Rugosas		X		X
Ligeramente Rugosas			X	
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave	D	D	D
Espesor	>5mm o < 5mm	>5	>5	>5
Resistencia compresión simple				
Flujo				

ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES

Fresca			
Ligeramente alterada	X	X	X
Moderada			
Fuerte			
Descompuesta			

OBSERVACIONES:
* Tomado del valor RCS (Tabla 1, Anexo 4)
** Valor de Jv = 9

***Tabla 50**. Estación Geotécnica 4*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca: Andesita
Realizado por: William Jiménez
Sitio de Observaciones: 0 + 66

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50	37.44	.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	82**
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo	N60E	Buzamiento	30SE	T. Discont.	Veta
Sistema 2	Rumbo	N81E	Buzamiento	34SE	T. Discont.	Diaclasa
Sistema 3	Rumbo	N20O	Buzamiento	48SE	T. Discont.	Diaclasa

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m			0.7
Moderado	0.20 a 0.60 m			
Cerrado	0.06 a 0.20 m	0.06		
Muy Cerrado	< 0.06 m		0.05	

CONDICIONES DE AGUA

Flujo por 10 m de longitud únel / Presión de Agua

CONDICIONES GENERALES	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Seco			
Húmedo	X	X	X
Mojado			
Goteo			
Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m			
Baja	1 - 3 m	1.1	2.3	2.8
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm			
Cerrada	0.1 - 0.5 mm		0.3	0.1
Moderada	0.5 - 2.5 mm	0.6		
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas				
Rugosas		X		X
Ligeramente Rugosas			X	
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave	D	D	D
Espesor	>5mm o < 5mm	>5	>5	>5
Resistencia compresión simple				
Flujo				

ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES

Fresca			
Ligeramente alterada	X	X	X
Moderada			
Fuerte			
Descompuesta			

OBSERVACIONES:
* Tomado del valor RCS (Tabla 1, Anexo 4)
** Valor de Jv = 10

***Tabla 51**. Estación Geotécnica 5*

Formulario de Datos de Campo - Sistema RMR - Índice Q

Proyecto: "DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRANSPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CÓDIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DEL AZUAY"

Unidad Litológica
Tipo de Roca: Andesita
Realizado por: William Jiménez
Sitio de Observaciones: 0 + 76

RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA

Clase	Resistencia a la Compresión Simple Mpa		Índice de Carga Puntual Mpa	
Muy alta	> 250		> 10	
Alta	100 - 250		.4 - 10	
Media	50 - 100		.2 - 4	
Baja	25 - 50	37.44	.1 - 2	
Muy baja	< 25		<1	

RQD

Excelente	90 - 100 %	
Muy Bueno	75 - 89 %	79**
Regular	50 - 74 %	
Malo	25 - 49 %	
Muy Malo	<25 %	

RQD = 115 - 3.3 Jv

ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

Sistema 1	Rumbo	N70E	Buzamiento	34SE	T. Discont.	Veta
Sistema 2	Rumbo	N79E	Buzamiento	36SE	T. Discont.	Diaclasa
Sistema 3	Rumbo	N36E	Buzamiento	48SE	T. Discont.	Diaclasa

ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES

		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy Ancho	> 2 m			
Ancho	0.60 a 2 m	0.7	0.9	0.6
Moderado	0.20 a 0.60 m			
Cerrado	0.06 a 0.20 m			
Muy Cerrado	< 0.06 m			

CONDICIONES DE AGUA

Flujo por 10 m de longitud únel

Presión de Agua

CONDICIONES GENERALES

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Seco			
Húmedo	X	X	X
Mojado			
Goteo			
Flujo			

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES

CONTINUIDAD O PERSISTENCIA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Muy baja	< 1 m			
Baja	1 - 3 m	1.2	1.1	1.7
Media	3 - 10 m			
Alta	10 - 20 m			
Muy Alta	> 20 m			
ABERTURA O SEPARACIÓN				
Muy Cerrada	< 0.1 mm		0.09	
Cerrada	0.1 - 0.5 mm	0.3		0.4
Moderada	0.5 - 2.5 mm			
Abierta	2.5 - 10 mm			
Muy Abierta	> 10 mm			
RUGOSIDAD Y PLANARIDAD (Superficies planares P, Onduladas, Escalonadas)				
Muy Rugosas				
Rugosas				
Ligeramente Rugosas		X	X	X
Lisas				
Espejo de falla				
RELLENO				
Tipo	Duro o suave	D	D	D
Espesor	>5mm o < 5mm	<5	<5	<5
Resistencia compresión simple				
Flujo				
ALTERACIÓN DE PAREDES DE DISCONTINUIDADES				
Fresca		X		
Ligeramente alterada			X	X
Moderada				
Fuerte				
Descompuesta				

OBSERVACIONES:
* Tomado del valor RCS (Tabla 1, Anexo 4)
** Valor de Jv = 11

Anexo 7. Ensayo de Laboratorio

ESTSUELCON CIA. LTDA.
ESTUDIOS DE SUELOS, LABORATORIO, CONSTRUCCIÓN Y CONSULTORIA

ENSAYO DE COMPRESIÓN CÚBICA EN ROCAS

PROY. :	**DISEÑO DE UNA GALERÍA DE TRASPORTE, CON LA FINALIDAD DE CONECTAR EL NIVEL DOS DEL BLOQUE DE EXPLOTACIÓN DE LA VETA ORO SOL, CON EL NIVEL UNO, DEL ÁREA MINERA RENACER M3, CODIGO 101602, SECTOR SAN GERARDO, PROVINCIA DE AZUAY**						
OBRA :	PROYECTO DE TESIS - WILLIAM ALBERTO JIMÉNEZ JIMÉNEZ C.C. 210041264-8						
UBIC. :	SAN GERARDO - AZUAY				**MUESTRA**	1	
FECHA :	NOVIEMBRE-2019	**OPERADOR**	O.C.		**PROFUND.:**	Muestra de Mina	
COORDENADAS:	X:			Y:			

1.- DENSIDAD

Muestra	PESO AIRE	P SUMERGIDO	PESO SECO	D. MASIVA	D. S.S.S.	APARENTE	ABSORCIÓN
Nº	g	g	g	g/cm³	g/cm³	g/cm³	%
1	357.77	227.20	354.51	2.72	2.74	2.78	0.92%
Promedio				**2.72**	**2.74**	**2.78**	**0.92%**

2.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Muestra	LARGO	ANCHO	ALTURA	AREA	VOLUMEN	CARGA	ESFUERZO
Nº	cm	cm	cm	cm²	cm³	Kg	Kg/cm²
1	5.31	5.38	5.18	28.57	147.98	10,907.24	381.802
Promedio							**381.80**