

Estudo geológico-geotécnico da principal galeria de transportes da mineração “renacer m3” código de concessão 101602, mina “oro sol”, setor San Gerardo, cantão Ponce Enríquez, província de Azuay

Geological-geotechnical study of the main transport gallery of the mining concession "renacer m3" code 101602, "oro sol" mine sector San Gerardo, canton Ponce Enriquez, Azuay province.

DOI:10.34117/bjdv9n3-109

Recebimento dos originais: 17/02/2023

Aceitação para publicação: 10/03/2023

Andy Ramiro Astudillo Romero

Graduado em Engenharia em Geologia Ambiental e Ordenamento do Território

Instituição: Universidad Nacional de Loja

Endereço: La Argelia, Cdla Universitaria

E-mail: andy.astudillo@unl.edu.ec

Hernán Luis Castillo García

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Nacional de Piura

Instituição: Universidad Nacional de Loja

Endereço: La Argelia, Cdla Universitaria

E-mail: hernan.castillogarcia@unl.edu.ec

Jimmy Stalin Paladines

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Nacional de Piura

Instituição: Universidad Nacional de Loja

Endereço: La Argelia, Cdla Universitaria

E-mail: jspaladines@unl.edu.ec

Maritza Ximena Ochoa Tapia

Mestra em Prevenção e Gestão de Riscos pela Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN)

Instituição: Universidad Nacional de Loja

Endereço: La Argelia, Cdla Universitaria

E-mail: maritza.ochoa@unl.edu.ec

RESUMO

A mineração tem sido uma das atividades mais importantes da história da humanidade, e o cantão de Ponce Enriquez não é exceção. A presente pesquisa detalha informações sobre características topográficas, geológicas e estruturais em nível superficial e subterrâneo, bem como propriedades geomecânicas da principal galeria de transporte da mina "Oro Sol", localizada no cantão Camilo Ponce Enriquez, província de Azuay. Com o objetivo principal de realizar a caracterização geomecânica do maciço rochoso e de modo a propor sugestões de fortificação, para dar estabilidade a setores que o requeiram. Obtida a topografia superficial e subterrânea procedeu-se ao detalhamento geológico e por sua vez à caracterização do maciço rochoso num total de 8 estações geomecânicas dentro da galeria principal de transporte através das classificações geomecânicas: RMR de Bieniawski, Q de Barton e GSI, com a ajuda dos softwares "Dips" e "UNWEDGE"

Procedemos à recolha de toda a informação para dar uma classificação aos maciços rochosos e propor medidas de apoio onde as mesmas sejam necessárias dentro da galeria principal de transportes da mina "Sol Gold".

Palavras-chave: mineração, topografia, caracterização, geotecnia, sustentabilidade.

ABSTRACT

Mining has been one of the most important activities throughout human history, and the canton of Ponce Enriquez is no exception. The present research details information on topographic, geological and structural characteristics at the surface and underground level, as well as geomechanical properties of the main transport gallery of the mine "Oro Sol", located in the canton Camilo Ponce Enriquez, province of Azuay. With the main objective of carrying out the geomechanical characterization of the rocky massif and in order to propose suggestions of fortification, to give stability to sectors that require it. Having obtained the surface and underground topography, we proceeded to detail the geology and in turn the characterization of the rocky massif in a total of 8 geomechanical stations within the main transport gallery by means of the geomechanical classifications: RMR of Bieniawski, Q of Barton and GSI, plus the help of software "Dips" and "UNWEDGE" We proceeded to collect all the information to give a rating to the rocky massifs and propose support measures where they are required within the main transport gallery of the mine "Sol Gold".

Keywords: mining, topography, characterization, geotechnics, sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O cantão Camilo Ponce Enríquez localizado na Província de Azuay é considerado o distrito mineiro mais jovem que existe no Equador, suas atividades extrativas remontam aos anos 80 e continuam até hoje como a principal atividade econômica neste setor. Um estudo geológico estrutural detalhado permite determinar as características litológicas de uma área de interesse e é necessário em qualquer trabalho na área de mineração para melhorar as atividades em cada uma das etapas da mineração, bem como proteger a segurança dos trabalhadores.

A geotecnia é parte fundamental da mineração, seus estudos para caracterização de maciços rochosos, estabilização de taludes e o correto dimensionamento de perfurações e detonações, entre outros, fazem desta ferramenta peça fundamental na tomada de decisões. Desta forma, pode-se fornecer um critério técnico das condições atuais da galeria principal de transporte para proteger a segurança dos trabalhadores e o bom desenvolvimento da concessão mineira "ORO SOL" localizada no cantão Camilo Ponce Enríquez, Azuay província.

Através da realização de levantamentos topográficos como base para estudos geológicos, geotécnicos e mineiros, pode ser efectuada a caracterização geotécnica do meio envolvente como base para estudos de riscos geológicos e construções de apoio no âmbito da concessão mineira “ORO SOL”. Onde, realizado o Estudo Geológico Estrutural da Galeria de Transportes, de forma a fornecer informação geológica estrutural detalhada, bem como a qualidade do maciço rochoso, servirá para propor critérios técnicos para um sistema de suporte da galeria cumprindo os requisitos necessários padrões de segurança.

2 ESTUDO DE CASO

- Realização do estudo geológico-geotécnico da galeria principal de transporte da mina "ORO SOL", setor San Gerardo, cantão Ponce Enríquez, província de Azuay.
- Realizar o levantamento topográfico superficial e subterrâneo da área de trabalho da mina "ORO SOL".
- Elaborar o estudo geológico da frente de trabalho da mina "ORO SOL".
- Determinar as características geotécnicas da galeria principal de transporte da mina "ORO SOL", utilizando as classificações geomecânicas de Rock Quality Designation (RQD) ou Q de Barton, Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski, e GSI (Geological Strength Index), para determinar a qualidade dos diferentes maciços rochosos.

3 METODOLOGIA

A metodologia foi realizada de acordo com os objetivos definidos neste projeto, e a ordem das etapas que foram executadas para alcançar os objetivos propostos é descrita sequencialmente:

3.1 REALIZAR O LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO DA ÁREA DE TRABALHO DA MINA "ORO SOL".

Trabalho de Campo: Para cumprir este objetivo, compilou-se informação topográfica e geológica de fontes secundárias, entre os principais documentos guia utilizados estão: "PLANO DE DESENVOLVIMIENTO E ORDENAMIENTO DO CANTÃO CAMILO PONCE ENRÍQUE 2014-2030", e o mapa geológico de "Machala"

na escala 1:100.000, elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas do Equador em 2017. Para o trabalho de campo foram realizadas visitas técnicas para realizar o levantamento topográfico que foi realizado com uma estação Trimble. Para o levantamento de superfície, foi escolhido o método "poligonal fechado". O método Traversing consiste no levantamento de uma poligonal, composta por vértices (estações ou deltas) e lados que unem os referidos vértices.

Trabalho de escritório: As informações coletadas pela estação Trimble S9, de onde são obtidos os seguintes dados: norte X, leste Y, elevação Z e referências, foram processadas e exportadas para o programa "Excel" para ordenar os dados obtidos pela estação, posteriormente os dados processados no Excel são transportados para o programa "FORESIGHT", que se encarrega de gerar as curvas de nível, neste caso foram realizadas a cada metro (1 m.) para as curvas principais, posteriormente foram exportadas para o programa AutoCAD, onde foi feito o mapa topográfico.

3.2 ELABORAR O ESTUDO GEOLÓGICO DA FRENTE DE TRABALHO DA MINA "ORO SOL".

Trabalho de campo: Procedemos à coleta de informações de fontes secundárias como "a carta geológica Machala" na escala de 1:100.000, além do livro "EVALUACION DE DISTRITOS MINEROS DEL ECUADOR" elaborado pelo Ministério de Energia e Minas do Equador no ano 2000, onde explica a gênese e formação de depósitos minerais no Equador. Para o desenvolvimento da geologia local, foram elaboradas fichas de "Descrição de afloramentos" (Tabela #) tendo em conta os parâmetros propostos por Gonzales Vallejo no livro "Engenharia Geológica"; tendo em conta dados estruturais de afloramentos e características litológicas. Para a determinação da resistência à compressão simples foram recolhidas 4 amostras na galeria principal de transporte, as quais foram transportadas para o laboratório "ESTSUELCOM" situado na cidade de Loja onde foram realizados 2 ensaios: Resistência à compressão simples e densidade.

Trabalhos de escritório: Para a identificação das rochas no laboratório de petrografia foi utilizado o programa Excel "Modal V1.0", que é um sistema de projeção da composição modal das rochas ígneas através do "Diagrama de Streckeisen para rochas ígneas plutônicas e vulcânicas (QAPF)". Para a utilização deste programa, é necessário determinar a composição mineralógica de cada rocha, identificando as quantidades de quartzo, feldspato, anfibólio e plagioclásio em % para cada amostra.

3.3 DETERMINAR AS CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DA GALERIA PRINCIPAL DE TRANSPORTE DA MINA "ORO SOL", UTILIZANDO AS CLASSIFICAÇÕES GEOMECÂNICAS DE ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD) OU Q DE BARTON, ROCK MASS RATING (RMR) DE BIENIAWSKI, E GSI (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX), PARA DETERMINAR A QUALIDADE DOS DIFERENTES MACIÇOS ROCHOSOS.

La valoración de la resistencia de un macizo rocoso pasa por tres factores fundamentales a considerar: 1. La constitución del macizo (las rocas que lo forman: la litología), 2. La disposición y relación espacial de las partes constitutivas del macizo rocoso (la estructura primaria o estratificación y la estructura secundaria, dada por las discontinuidades), 3. El estado de conservación en el que se encuentra (su condición de fresca o alteración). La finalidad de definir un valor del RMR en un macizo rocoso, es cuantificar su calidad, estimar sus propiedades desde el punto de vista de la ingeniería, proporcionar las bases de referencia para las condiciones previstas del frente de trabajo y recomendar procedimientos adecuados de sostenimiento.

Trabajo de Gabinete: Para la caracterización geotécnica de la galería principal de transporte de la mina "Oro sol" se tomó los puntos de referencia geológicos (estaciones) en este caso se realizaron 8 estaciones geológicas ubicados cada 25 metros aproximadamente, dentro de toda la galería principal de transporte de la mina, en los cuales se tomó un área de 1m² lineal para la caracterización de la calidad del macizo rocoso en los cuales se determinó parámetros dependiendo el sistema de clasificación geomecánica como:

Determinación RQD: índice de diaclasado (J_n), índice de rugosidad (J_r), índice de alteración (J_a) y factor de reducción por la presencia de agua (J_w).

Determinación RMR de Bieniawski: Se tomó también parámetros como Resistencia a la roca intacta (ensayo de carga puntual que se determinó en laboratorio), grado de fracturación y diaclasado de las discontinuidades del macizo, presencia de agua y la orientación de las discontinuidades respecto al elemento de estudio (galería principal de transporte).

Determinación del Índice de GSI: el criterio toma en cuenta el nivel de alteración – meteorización de las rocas, su historia geológica y condiciones de formación, estado de fracturación presente en ellas, así como la disposición de las juntas o discontinuidades y los parámetros geológicos como tipo de roca, mineralogía y elementos de yacencia (rumbo, buzamiento y dirección de buzamiento).

Os três sistemas de caracterização geológica RQD, RMR e GSI foram utilizados para determinar o índice de qualidade do maciço rochoso. O que nos deu resultados semelhantes e avaliações que verificam e verificam as condições atuais da galeria principal de transporte, todos esses dados servirão para dar possíveis soluções de suporte através do software Dips, quando necessário.

Abordagem para problemas de instabilidade:

Hoek e Brown (1980) resumem as causas que podem causar instabilidade em quatro opções:

- Tensões excessivas (in situ ou induzidas).
- Geologia desfavorável.
- Grandes caudais de água.
- Alterações desfavoráveis (inchaço e colapso).

De qualquer forma, um fator importante nas escavações subterrâneas é o estado de tensão in situ, que é sempre afetado pela escavação, de modo que as tensões principais são alteradas tanto em magnitude quanto em direção, tornando necessário estabelecer onde as tensões estão concentradas. e se a tensão máxima atingir a resistência do maciço.

Fortificações propostas por Bieniawski

Fortificação baseada em parafusos ou Bolting: Os parafusos ou também chamados de chumbadores consistem basicamente na introdução de barras de diferentes materiais em um maciço rochoso para que através de sua resistência à tração colaborem na estabilização da escavação e entre estes temos: parafusos de barra, parafusos autoperfurantes, parafusos de fricção (swellex) e parafusos Split-set. (Calçada, D., Sinoara, R., & Rezende, 2021).

Fortificação de concreto projetado: O concreto projetado consiste em concreto ou argamassa colocado por projeção pneumática de alta velocidade a partir de um bocal. Seus componentes são agregados, cimento e água, podendo ser complementado com materiais finos, aditivos químicos e fibras de reforço.

Apoio por treliças metálicas: As treliças são arcos de aço que resistem em conjunto com outros elementos de apoio, normalmente separados por distâncias entre 0,5 m e 1,5 m.

Determinação de Apoio proposta por Bieniawski.

Para cada classe de rocha, Bieniawski propõe um valor de apoio que pode ser visto na Tabela 1, que fala sobre as recomendações que podem ser feitas para apoio de acordo com o RMR.

4 RESULTADOS

Tabela 1 Dados Gerais.

DATOS GENERALES DE LA CONCESIÓN	
Nome da Área:	Renacer M3
Código:	101602
Dados do mirador:	ASOCIACION RENACER M3 GUENA II
Representante legal:	Ing. Alberto Salazar Sánchez
Dados do mirador:	ASOCIACION RENACER M3 GUENA II
Superfície Consagrada:	974 Hectares Mineras
Contrato mineração “Oro Sol”:	24.08 Hectáreas Mineras
endereço atualizado do proprietário:	Machala (Avenida Napoleón Mera y Guabo).
Telefone:	2932661

Fonte: O autor.

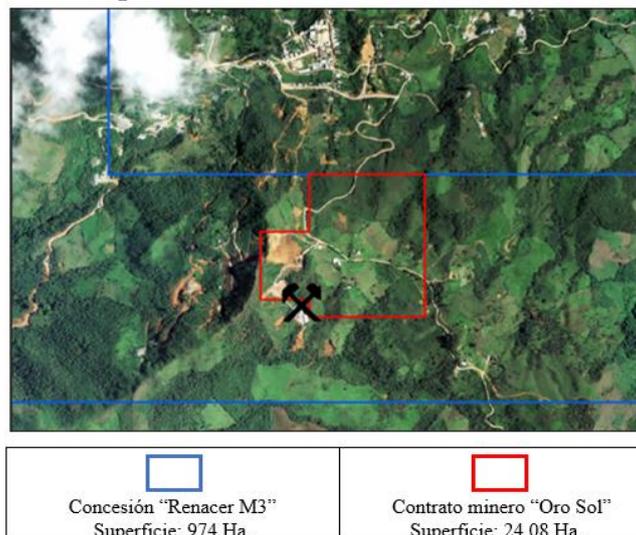
4.1 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA

Tabela 2 Localização

Província:	Azuay
Cantão:	Camilo Ponce Enríquez
Freguesia:	Camilo Ponce Enríquez
Comunidade:	San Gerardo

Fonte: O autor.

Figura 1; Limites do contrato de Concessão.



Fonte: O autor.

4.2 ACESSO

4.2.1 O acesso à área de pesquisa pode ser feito por diferentes meios

Aéreo: Da cidade de Quito ou Guayaquil ao aeroporto da cidade de Santa Rosa (aproximadamente uma hora de voo), desde ali por uma estrada de primeira ordem seguindo a rota Machala - Cambio del Guabo - Ponce Enríquez; e depois por uma estrada de terceira ordem até San Gerardo; num percurso de 120 km e com uma duração aproximada de 2 horas de viagem.

Por via terrestre: Desde Quito ou Guayaquil até a cidade de Cuenca e daí por uma estrada de primeira classe na rota Cuenca – Molleturo – Naranjal – Shumiral – San Gerardo.

4.3 TOPOGRAFIA

A frente mineira "ORO SOL" tem uma área total de 24,08 hectares contíguos, está localizada dentro da concessão RENACER-M3; e caracteriza-se por ter uma topografia irregular que inclui elevações que variam de 1500 a 1653 metros acima do nível do mar.

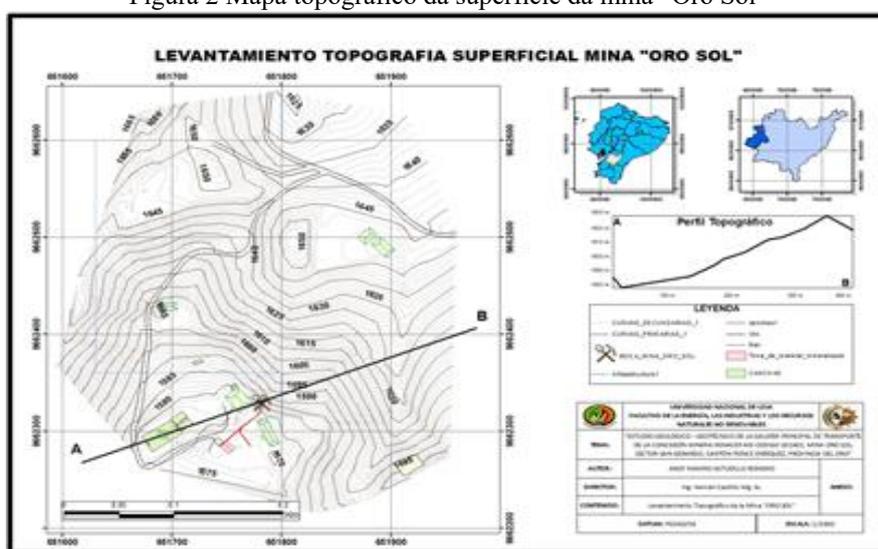
Tabela 3 Resultados das inclinações

Clase	Nombre	Rango (°)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1	PENDIENTES MUY BAJAS	0° - 5°	0.170153	3.3
2	PENDIENTES BAJAS	5° - 15°	1.70954	33.5
3	PENDIENTES MEDIAS	15° -35°	2.913632	57.07
4	PENDIENTES ALTAS	35° - 55°	0.309908	6.07
5	PENDIENTES ABRUPTAS	≥55°	0.001325	0.02

Fonte: O autor.

4.4 TOPOGRAFIA DA SUPERFÍCIE

Figura 2 Mapa topográfico da superfície da mina “Oro Sol”

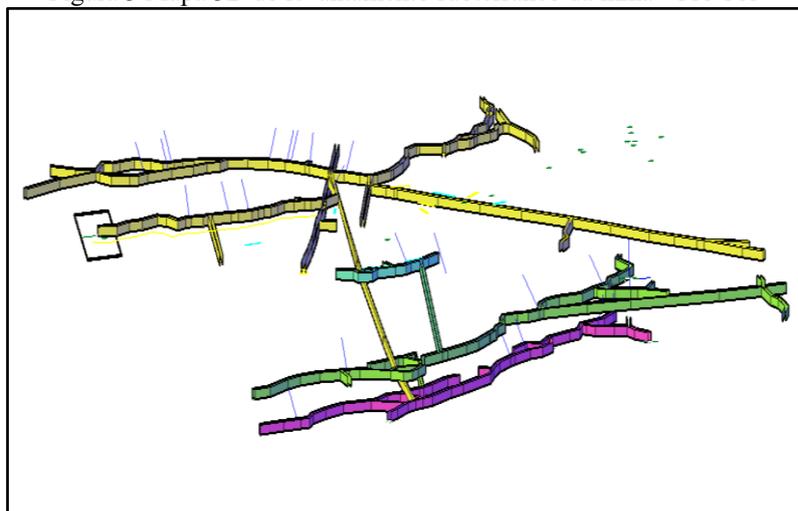


Fonte: O autor.

De acordo com os resultados obtidos no mapa de declividades, o maior percentual de declividades corresponde às declividades médias e declividades baixas com amplitudes entre 15° e 35°, juntas cobrem 90% do total de declividades na concessão minerária Renacer M3.

4.5 TOPOGRAFIA SUBTERRÂNEA

Figura 3 Mapa 3D do levantamento subterrâneo da mina “Oro Sol”

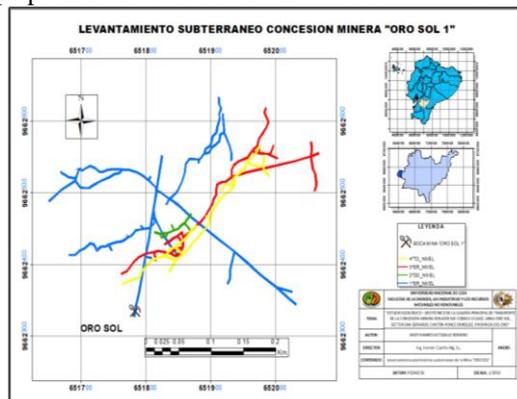


Fonte: O autor.

Mediante las respectivas mediciones, se constató las longitudes de cada nivel, siendo el Nivel 1= 1559,65 m. – Nivel 2 (abandonado, se lo usa como salida de emergencia) Nivel 3= 774,89 m. – Nivel 4= 509,81 m. dando un total de 2814,35 m. de longitud de todas las galerías a las que se puede acceder.

4.6 LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO DO SUBSOLO DA MINA “ORO SOL”

Figura 4. Mapa planimétrico do levantamento subterrâneo da mina “Oro Sol.



Fonte: O autor.

4.7 GEOLOGÍA

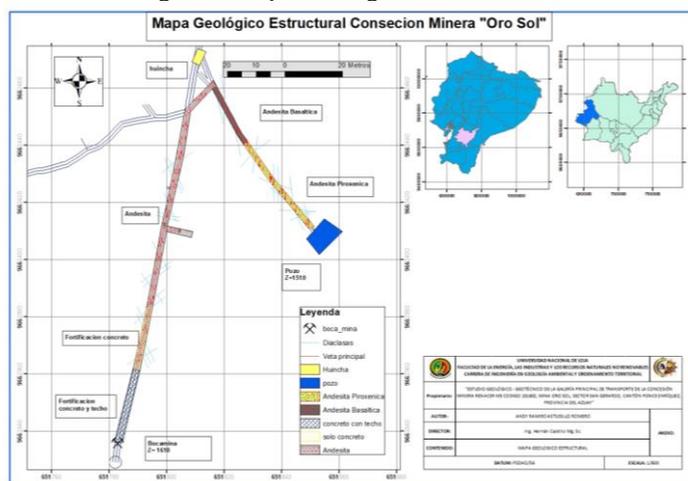
Geología Regional: A área de estudo está localizada dentro do Grupo Saraguro (EMS), que possui uma litologia de lavas intermediárias a ácidas, piroclastos e pacotes sedimentares. Também na área de estudo, são reconhecidas as formações: Las Trancas,

La Fortuna e Jubones. Todos os outros corpos litológicos não incluídos nestas três formações são identificados como: “Grupo Saraguro”, dentro do qual se encontram os tufos dacíticos.

Geología Local: Ao redor do Campo Mineral existe um conjunto predominante de rochas vulcânicas, andesitos e basaltos, brechas, todas estas rochas da Unidade Pallatanga. A exposição típica que ocorre nas frentes de trabalho é de basaltos verdes, estoques irregulares de epídoto, quartzo e diorito com espessura aproximada entre 10 e 20 mm. nas veias.

4.8 MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DENTRO DA MINA.

Figura 5 Mapa Geológico dentro da mina



Fonte: O autor.

4.9 PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS

Para conhecer as características físico-mecânicas das rochas, foram retiradas 4 amostras que representam toda a galeria principal de transporte da mina "Oro Sol", cujos testes foram realizados na ESTSUELCON Cía. Ltda.da cidade de Loja.

Tabela 4 Resultados de compactação simples

Código de muestra	Diámetro (cm)	Radio (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Carga Kg	Esfuerzo Kg/cm ²	Resistencia MPA
M-01	5.57	2.79	10.98	21.40	234.99	1,855.85	86.717	8.50
M-02	5.51	2.76	11.07	20.94	231.84	8,351.34	398.769	39.10
M-03	5.56	2.78	10.98	20.32	234.14	2,742.99	128.630	12.62
M-04	5.55	2.78	11.14	21.25	236.70	1,672.31	78.704	7.72

Fonte: O autor.

4.10 CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO.

Para a caracterização geomecânica, toda a área de estudo foi dividida em 8 seções (estações) de aproximadamente 25 metros cada, de acordo com a litologia e condições estruturais do maciço rochoso, considerando a homogeneidade geológica da rocha, principalmente litologia e estruturas presentes no maciço rochoso. maciço por m² que permitem estudar e dar uma avaliação correta a toda a galeria.

Estação 1: O primeiro trecho corresponde desde a entrada da mina até 25 metros da galeria principal de transporte e corresponde a uma litologia andesítica com veios de quartzo em sua estrutura e um maciço de avaliação de baixa qualidade conforme detalhado na Tabela 5.

Tabela 5 Estação nº 1.

PARÁMETROS	VALOR / CONDICIÓN	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta (MPa)	39.11	4.74
RQD (%)	8.50	3.83
Espaciado de las discontinuidades (mm)	247.50	8.17
Condición de las discontinuidades		
Longitud/Persistencia (m)	1 3	4
Abertura (mm)	1 5	1
Rugosidad	Rugosa	5
Relleno	Duro > 5 mm	2
Meteorización	Moderadamente meteorizada	3
Agua subterránea	Goteando	4
Ajuste por orientación de las discontinuidades	Rumbo p. al eje /Avance contra sentido del buz 45°- 90°	-5
RESULTADOS		
RMR ₉₀		36
RMR ₉₀ Corregido		31
RMR ₉₀ Condiciones secas		47
Clase de roca		IV
Descripción de la calidad		Mala
Cohesión del macizo rocoso		1 - 2 Kg/cm ²
Ángulo de fricción Ø del macizo rocoso		22.86709828
GSI		42
Q Barton		
RQD		8.50
Índice Diaclasado		15
Índice Rugosidad		3
Índice de alteración		2
FACTOR DE REDUCCIÓN POR PRESENCIA DE AGUA JW		0.66
FACTOR DE REDUCCIÓN POR ESFERZOS SFR		2.5
Resultado Q Barton		0.224506463

Fonte: O autor.

Da mesma forma, a mesma metodologia foi aplicada para as 8 estações seguintes, com as avaliações correspondentes.

Resumo da caracterização geomecânica da galeria principal de transporte da mina "Oro Sol".

Tabela 6 Caracterização resumida de acordo com o RMR de Bieniawsk.

Tramo	Litologia	Distancia m. (boca mina)	RMR	Calidad de Macizo
Estación 1	Andesita (cuarzo en vetillas)	25	36	Mala IV
Estación 2	Andesita (cuarzo en vetillas)	48	47	Media III
Estación 3	Andesita (cuarzo en vetillas)	75	48	Media III
Estación 4	Andesita Basáltica	98	48	Media III
Estación 5	Andesita Basáltica	110	44	Media III
Estación 6	Andesita Piroxénica Cuarzo en estructura	140	49	Media III
Estación 7	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	165	55	Media III
Estación 8	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	185	55	Media III

Fonte: O autor.

Conforme a tabela 4 onde é exposta a caracterização geomecânica dos maciços rochosos com base na classificação RMR de Bieniawski, temos uma geologia especificamente de andesitos com alteração conforme o grau de intemperismo ou profundidade, pois temos andesitos com quartzo em estrutura e andesitos com quartzo em veios, assim como andesitos piroxênicos devido à presença de epidoto e andesitos basálticos devido à sua textura e mineralogia. Quanto à qualidade do maciço, temos qualidades entre III e IV, o que significa maciços de média e má qualidade, que carecem de suporte de acordo com a bibliografia. Os resultados foram de má qualidade porque os testes simples de resistência à compressão em laboratório nos deram resultados muito baixos nas estações 1 - 2 - 5 - 6 - 7 e 8, respectivamente. Esses testes com valores baixos foram devido à presença de veios de quartzo, que enfraquecem sua resistência. (Benavides, J., Jara, D., Riofrio, Gonzalo., Castillo, H., & Sinche, 2018).

4.11 CARACTERIZAÇÃO DE ACORDO COM O Q DE BARTON

Tabela 7 Caracterização resumida de acordo com o Q de Barton

Tramo	Litologia	Distancia m. (boca mina)	RQD	Calidad de Macizo
Estación 1	Andesita (cuarzo en vetillas)	25	0.22	Muy Mala
Estación 2	Andesita (cuarzo en vetillas)	48	1.28	Mala
Estación 3	Andesita (cuarzo en vetillas)	75	2.65	Mala-Regular
Estación 4	Andesita Basáltica	98	1.86	Mala
Estación 5	Andesita Basáltica	110	1.36	Mala
Estación 6	Andesita Piroxénica Cuarzo en estructura	140	1.80	Mala
Estación 7	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	165	3.41	Mala-Regular
Estación 8	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	185	3.82	Mala-Regular

Fonte: O autor.

De acordo com a tabela 5 onde é exposta a caracterização geomecânica dos maciços rochosos com base na classificação Q de Barton, temos uma geologia especificamente de andesitos com alteração conforme o grau de intemperismo ou profundidade, pois temos andesitos com quartzo em estrutura e andesitos com quartzo em veios, bem como andesitos piroxênios pela presença de epidoto e andesitos basálticos por sua textura e mineralogia. Quanto à qualidade do maciço temos qualidades entre Muito Ruim - Ruim - Regular, que carecem de respaldo conforme bibliografia. Os resultados foram de má qualidade porque os testes simples de resistência à compressão em laboratório nos deram resultados muito baixos nas estações 1 - 2 - 5 - 6 - 7 e 8. Esses testes com valores baixos foram devido à presença de veios de quartzo, que enfraquecem sua resistência.

4.12 CARACTERIZAÇÃO DE ACORDO COM GSI MODIFICADO:

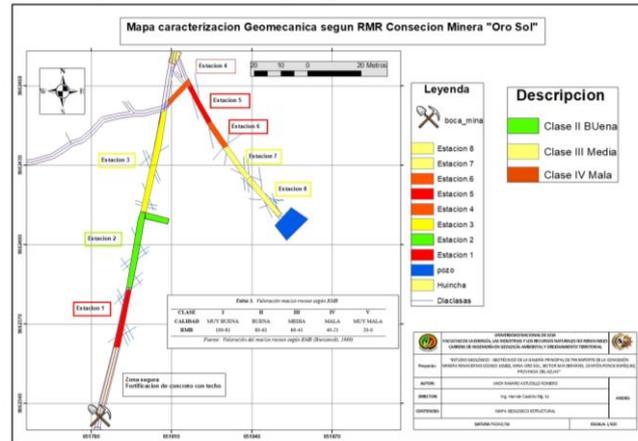
Tabela 8 Caracterização resumida de acordo com GSI modificado.

Tramo	Litología	Distancia m. (boca mina)	GSI Modificado	Descripción	Sostenimiento
E 1	Andesita (cuarzo en vetillas)	25	III F/R	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Regular	Sostenimiento sistemático 1.2 x 1.2 m. pernos cementados en labores principales (mallas ocasionales).
E 2	Andesita (cuarzo en vetillas)	48	III F/R	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Regular	Sostenimiento sistemático 1.2 x 1.2 m. pernos cementados en labores principales (mallas ocasionales).
E 3	Andesita (cuarzo en vetillas)	75	II F/B	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Bueno	Sostenimiento puntual donde se requiera (pernos cementados)
E 4	Andesita Basáltica	98	II F/B	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Bueno	Sostenimiento puntual donde se requiera (pernos cementados)
E 5	Andesita Basáltica	110	II F/B	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Bueno	Sostenimiento puntual donde se requiera (pernos cementados)
E 6	Andesita Piroxénica Cuarzo en estructura	140	IV F/M	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Mala	Sostenimiento sistemático c/cuadros de madera (1.2-1.5m.); pernos cementados sistemáticos (1x1m.)
E 7	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	165	IV F/M	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Mala	Sostenimiento sistemático c/cuadros de madera (1.2-1.5m.); pernos cementados sistemáticos (1x1m.)
E 8	Andesita Piroxénica (cuarzo en estructura)	185	III F/R	Macizo moderadamente fracturado con parámetro de resistencia Regular	Sostenimiento sistemático 1.2 x 1.2 m. pernos cementados en labores principales (mallas ocasionales).

Fonte: O autor.

De acordo com a tabela 8 sobre a caracterização segundo a classificação "GSI modificado", que se baseia na apreciação do maciço ao nível estrutural e das condições presentes na sua superfície, temos maciços moderadamente fracturados (F), porque todas as estações apresentam de 3 a 4 famílias de descontinuidades (juntas), além de 6 a 12 fraturas por metro linear, quanto ao parâmetro de resistência temos 2 tipos de superfície; Superfície boa (B) devido ao facto das estações apresentarem superfícies resistentes e ligeiramente alteradas, estas superfícies encontram-se nas estações 3-4-5. Superfície Regular (R) porque alguns maciços apresentam superfícies moderadamente resistentes e alteradas nas estações 1-2-8 e finalmente temos Superfícies Pobres (M) porque alguns maciços apresentam superfícies altamente alteradas devido à presença de minerais no beta principal do Oro sol mine, essas superfícies ruins estão nas estações 6 e 7 especificamente.

Figura 6 Mapa de caracterização geomecânica de acordo com RMR



Fonte: O autor.

A partir da caracterização geológica e estrutural de cada uma das seções estudadas, unificamos critérios baseados em RMR, Q de Barton e GSI, determinando assim áreas instáveis com potencial para deslizamentos ou deslizamentos e áreas estáveis que não precisam de sistemas de suporte, dando assim o máximo as zonas estáveis estão nas estações 2-3-7-8 e as mais instáveis são as estações 1-4-5-6, respectivamente.

5 DISCUSSÃO E RESULTADOS

De acordo com a caracterização geotécnica da galeria principal de transporte da mina "Oro Sol", das 4 amostras que foram retiradas para os ensaios de resistência à compressão simples, apenas a amostra nº 2 que foi utilizada para as estações 3 e 4 I apresenta a resistência que caracteriza rochas ígneas especificamente para andesito, esta amostra apresentou uma resistência de 39,10 Mpa. que está dentro dos troços 3 e 4 que consideramos estáveis e não necessitam de qualquer tipo de fortificação. Os testes nº 1 - 3 e 4 apresentaram valores muito baixos entre 8 e 12 MPa. O que determinou qualidades de sólidos entre médio e ruim que foram levados para as estações 1-2-5-6-7 e 8, más em campo e com o auxílio do martelo Schmidt foi possível comprovar que nem todas as estações precisam de apoio, já que os valores de resistência à compressão simples não seriam baixos se as rochas fossem andesitas com quartzo na estrutura e não com quartzo como em veios, que é o que enfraquece a resistência.

Em relação ao suporte de acordo com os resultados obtidos em cada uma das estações, a melhor medida de estabilização de acordo com o software Unwedge varia entre chumbadores e concreto projetado. Abaixo está o fator de segurança obtido pela aplicação de medidas de estabilização em cada estação:

Tabela 9 Estabilização de acordo com o software Unwedge.

FACTORES DE SEGURIDAD		
Estación	Pernos de Anclaje (Mechanical anchors)	Hormigón Proyectado (Shotcrete)
Nº 1	59	2897
Nº 2	-	-
Nº 3	35	337
Nº 4	3865	16664
Nº 5	1645	1536
Nº 6	797	1264
Nº 7	86.18	159.83
Nº 8	57.813	2339.22

Fonte: O autor.

O Fator de Segurança aumenta drasticamente ao aplicar o "Shotcrete" más isso envolve uma grande quantia de dinheiro devido aos altos custos que implicaria adicionar suportes através do Shotcrete, por isso o Shotcrete deve ser aplicado nas estações 1-5-6 e 7 que são as áreas mais instáveis e chumbadores nas estações 2-3-4 e 8 e assim ter uma galeria de transporte segura para o desenvolvimento dos trabalhos.

6 CONCLUSÕES

- A concessão mineira “Renacer M3” tem uma área de 974 ha. e dentro da mesma empresa mineira encontra-se o contrato de exploração mineira "Oro Sol" com uma superfície de 24,08 ha. Objeto de estudo deste projeto.
- A partir do levantamento topográfico da mina "Oro Sol", foi determinada uma topografia irregular, que inclui elevações que oscilam entre os 1.500 e os 1.653 metros acima do nível do mar.
- As encostas da área de estudo apresentam o maior percentual de declividades, variando de 15° a 35°, abrangendo 90% do total de declividades da concessão minerária Renacer M3.
- Do levantamento subterrâneo, a mina “Oro Sol” é constituída por 4 níveis e um poço que une os níveis onde se encontra o guincho, tendo assim os comprimentos de cada nível, sendo Piso 1 = 1559,65 m. – Piso 2 (abandonado, serve como saída de emergência) Piso 3= 774,89 m. – Piso 4= 509,81 m. dando um total de 2.814,35 m. comprimento de todas ases galerias.
- As informações básicas sobre a geologia da área de estudo foram baseadas na Carta Geológica Machala, escala 1:100.000, Folha 36, e nos Mapas Geológicos

da Cordilheira Ocidental do Equador, escala 1:100.000 do ano 2017, do Instituto Nacional de Pesquisa Geológica Mineiro Metalúrgico (EX INIGEM), determinando que a área de estudo está dentro do Grupo Saraguro (EMS), que tem uma litologia de lavas intermediárias a ácidas, piroclastos e pacotes sedimentares. No contexto regional O Campo Mineral Ponce Enríquez pertence à Unidade Pallatanga (KPa) do Cretáceo Inferior Médio.

- De acordo com a geologia local na área de estudo da mina "Oro Sol" foi possível verificar a presença de andesitos, tufos e basaltos como leito rochoso, estes andesitos apresentam alteração propilítica e clorítica, pelo que em certas secções argilas e uma coloração amarelada em as paredes do maciço rochoso.
- As classificações geomecânicas aplicadas para a caracterização estrutural geológica da mina "Oro Sol" foram: RMR Bieniawski, RQR O Q de Barton, e GSI, como principais e como complemento utilizando o Esclerômetro SCHMIDT.
- Das amostras retiradas para os ensaios de resistência à compressão simples, obteve-se resistência para amostra (1) 86,7 Kg/cm²; amostra (2), a mais resistente 398,7 Kg/cm²; amostra (3), 128,6 Kg/cm²; e amostra (4), 78,7 Kg/cm².
- De acordo com a caracterização geomecânica dos maciços rochosos com base na classificação RMR de Bieniawski, temos qualidades entre III e IV, o que significa maciços de qualidade média e ruim, que precisam de suporte.
- De acordo com a caracterização geomecânica de maciços rochosos com base na classificação Q de Barton, a qualidade do maciço apresenta qualidades entre Muito Ruim - Ruim - Regular, que necessitam de suporte conforme bibliografia.
- De acordo com a caracterização segundo a classificação "GSI modificada", que se baseia na apreciação do maciço a nível estrutural e das condições presentes na sua superfície (descontinuidades), temos maciços moderadamente fracturados (F), pelo facto que todas as estações apresentam de 3 a 4 famílias de descontinuidades (juntas), além de 6 a 12 fraturas por metro linear. Em relação ao parâmetro de resistência, temos 2 tipos de superfície; Superfície boa (B) devido ao facto das estações apresentarem superfícies resistentes e ligeiramente alteradas, estas superfícies encontram-se nas estações 3-4-5. Superfície Regular (R) porque alguns maciços apresentam superfícies moderadamente resistentes e alteradas nas estações 1-2-8 e finalmente temos Superfícies Pobres (M) porque alguns maciços

apresentam superfícies altamente alteradas devido à presença de minerais no beta principal do Oro sol mine, essas superfícies ruins estão nas estações 6 e 7 especificamente.

- De acordo com os dados obtidos e transformados para a caracterização através da aplicação do esclerômetro, temos a resistência de cada maciço em relação à compressão simples com martelo de Schmidt e temos maciços de resistência mole a moderadamente mole devido ao alto intemperismo que existe, maciços de resistência dura a extremamente dura, pois segundo González Vallejo o Andesito tem valores médios de 210-320 Mpa. Isso demonstra a geologia existente que é claramente composta por andesitas.
- A partir da caracterização geológica e estrutural de cada uma das seções estudadas, unificamos critérios baseados em RMR, Q de Barton e GSI, determinando assim áreas instáveis com potencial para deslizamentos ou deslizamentos e áreas estáveis que não precisam de sistemas de suporte, dando assim o máximo as zonas estáveis estão nas estações 2-3-7-8 e as mais instáveis são as estações 1-4-5-6, respectivamente.
- De acordo com o suporte das Recomendações Indicativas para o apoio e escavação de túneis escavados em rocha" (Bieniawski 1989), tendo uma classificação III CLASSE MÉDIA, do maciço, as recomendações a seguir são: Aparafusamento, Sistemáticamente em chave e empenas de Longo = 2 a 3 ou 3 a 4 m. Com espaçamento de 1,0 -1,5 m a 2 m. com malha.
- O chumbador mecânico consiste em uma haste de aço geralmente de 16 mm de diâmetro, equipada em sua extremidade com uma âncora de expansão mecânica que vai até o fundo do furo. A sua extremidade oposta pode ter uma cabeça forjada ou roscada, onde vão uma placa de base plana ou côncava e uma porca, para pressionar a rocha. Este tipo de parafuso é relativamente barato. Sua ação de reforço de rocha é imediata após sua instalação. Por meio da rotação, um torque de 135 a 340 MN (100 a 250 lb/pé) é aplicado à cabeça do parafuso, o que aumenta a tensão no parafuso, criando a interação na rocha.
- Aplicando aparafusamento temos um fator de segurança de 1645, o que já significa que ficaria muito estável E também concreto projetado: 5-10 cm ou 15-20 cm na chave, 3 mm nas empenas. Ao aplicar concreto projetado ou concreto projetado, temos um fator de segurança muito alto.

REFERÊNCIAS

- Andrade and Gavilanes, B. (2004). Introcucción a la ingeniería de tiuneles de Quito. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador.
- Ayala, C., & Posse, A. (2006). Manual de ingeniería de taludes. Madrid, España: Instituto geologico y minero de españa.
- Barton, N. (2000). El Sistema Q para la selección del sostenimiento en el método noruego de excavación de túneles. Oslo: Norwegian Geotechnical Institute.
- Benavides, J., Jara, D., Riofrio, Gonzalo., Castillo, H., & Sinche, L. (2018). Controle de uma coluna de destilação fracionada projetada com solidWorks®, utilizando a biblioteca simmechanics / Control of a fractional distillation column designed with solidWorks®, using the simmechanics library. Brazilian Journal of Development, pp 3846-3861. ISSN: 2525-8761.
- Burgos, F. (1987). Topografía Minera II. La Habana: Pueblo y Educacion.
- Caçada, D., Sinoara, R., & Rezende, S. (2021). Seleção Objetiva de suporte e confiança mínimos em Mineração de Regras de Associação / Objective selection of minimum support and minimum confidence in Association Rule Mining. Brazilian Journal of Development, pp 47936-47960. ISSN: 2525-8761.
- Chávez, J. (2006). Geotecnia: Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil Ciudad Universitaria, 0451 O, México, D.F.
- Ferrer, M., & Gonzales, L. (2007). Manual de Campa para La Descripcion Y Caracterizacion de Macizos Rocosos en afloramientos . Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Fraga, L., Mgter, L., & Polare, I. (2020). Discontinuidades estructurales: discordancias y diaclasas . Argentina : Universidad Nacional de Rosario.
- Granada, U. (s.f.). Departamento de Mineralogia y Petrologia Universidad de Granada. Obtenido de <http://www.ugr.es/~petgquim/ProgramasWeb.htm>.
- Huang, W. (2009). Petrología . Mexico: Limusa.
- Ingenieria, E. (s.f.). <https://www.egv.cl/topografia-laser-escaner-3d-o->.
- INIGEMM. (2014). Memoria Técnica de la Hoja Geológica Machala-Quito.
- Instituto Nacional De Prevención Sísmica, I. (2016). Instituto Nacional De Prevención Sísmica. Obtenido de <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Fallas%20Geol%20C3%B3gicas.pdf>
- Iriondo, M. (2007). Introducción a la Geología. Argentina: Editorial Brujas.
- Maldonado, Y. (2018). Macizo rocoso, matriz rocosa y discontinuidades. Descripción y caracterización de macizos rocosos. Obtenido de Geología web: <https://bit.ly/33YMR24>

Oyanguren, P., & Monge, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid

Parima, J., Parra, M., & Romero, R. (2017). *Geología estructural: rumbo, buzamiento, fallas, pliegues y discordancias*. Venezuela: Instituto Universitario Politecnico "Santiago Mariño".

Pérez, P. (2010). *Topografía*. Bogota: Inst. Tecnológico Metropolitano.

Ragan, D. (1980). *Geologia Estructural*. Barcelona: OMEGA S.A.

Ramírez, Y. (2004). *Manual de Geomecánica aplicada a la prevención de accidentes por caída de rocas en minería subterránea*. Perú: Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía.

Sarango, W. (2017). *Levantamiento Geológico Estructural de la Galería principal de transporte de la mina aurífera de la compañía MINERVILLA*. Loja.

Servicio Nacional de Geología y Minería, P. (2009). *Atlas de deformaciones cuaternarias de los Andes*. Canadá.

Tarback, E. (2005). *Ciencias de la Tierra - Una Introduccion a la Geología Física*. Madrid : PEARSON EDUCATION S. A. Universidad autónoma de Madrid.

Touriño, J., & Rey, I. (2002). *Diseño de excavaciones subterranas y sostenimiento*. Universidad de Vigo.

Vallejo, L.(2002). *INGENIERIA GEOLOGICA*. MADRID: PEARSON EDUCATION.

Vich, R., & Ortiz, D. (2010). *Problemas de Geología Estructural: pliegues*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

Zelada, G. (2017). *Diseño de Sostenimiento para proyecto de tunel*. Madrid: TBM.