

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Análisis geomecánico para la determinación del tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método por taladros largos en el Manto Anita,

Mina Islay

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Bach. Jesús Edwin VALLE CAJALEÓN

Asesor:

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN

Cerro de Pasco – Perú – 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



T E S I S

Análisis geomecánico para la determinación del tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método por taladros largos en el Manto Anita,

Mina Islay

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Julio Alejandro MARCELO AMES
PRESIDENTE

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO

Mg. Javier LOPEZ ALVARADO
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres, por estar conmigo, por apoyarme, guiarme y enseñarme: a crecer, a levantarme si me caigo; asimismo, por ser la base de mi formación personal y profesional.

AGRADECIMIENTO

Es preciso y oportuno darles mis sinceros agradecimientos a Dios, por darme la vida; a mis padres, quienes con su esfuerzo, dedicación y apoyo en todas las decisiones de mi vida hicieron que pueda cumplir una de mis metas personales

RESUMEN

El presente estudio está orientado a realizar un análisis geomecánico del macizo rocoso presente en la mina Islay para determinar la factibilidad del uso del método de explotación por taladros largos, a fin de determinar el tipo de sostenimiento a usarse y preservar la seguridad e integridad del personal dentro de la operación minera. Para el presente estudio se realizaron investigaciones geomecánicas conformadas por logueos geotécnicos en labores subterráneas y caracterización del comportamiento mecánico de la roca intacta en ensayos de laboratorio.

Con el fin de cubrir los temas que plantea la investigación, hemos creído conveniente dividirlos en 4 secciones. La primera sección presenta el planteamiento del problema de investigación donde detallamos los objetivos, las hipótesis, las limitaciones y las variables. La segunda sección presenta el marco teórico donde detallamos las definiciones, parámetros a la descripción y caracterización de macizos rocosos con fines geotécnicos; las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos, que a pesar del tiempo transcurrido a partir de su aparición y de la implementación de los métodos numéricos siguen siendo una herramienta útil de recolección de datos para la caracterización de los macizos rocosos; los tipos de sostenimiento aplicados en minería subterránea y el ámbito geológico presente en el yacimiento. La tercera sección presenta la metodología de la investigación donde detallamos las técnicas de procesamiento y análisis de datos. La cuarta sección presenta los resultados y su interpretación mediante el análisis geomecánico orientada al diseño de las excavaciones subterráneas con el índice Q, RMR, RQD y GSI del macizo rocoso la cual nos ayudara a determinar la calidad del macizo rocoso e implantar el sostenimiento optimo en la excavación, dándole el equilibrio y estabilización de acuerdo a la dimensión de la labor.

Palabras clave: Análisis geomecánico, macizo rocoso, sostenimiento, labores subterráneas.

ABSTRACT

The purpose of this study is to conduct a geomechanical analysis of the rock mass present at the Islay mine to determine the feasibility of using the long-drill method, in order to determine the type of support to be used and to preserve the safety and integrity of personnel within the mining operation. For this study, geomechanical investigations were carried out consisting of geotechnical logues in underground workings and characterization of the mechanical behavior of the intact rock in laboratory tests.

In order to cover the issues raised by the research, we thought it appropriate to divide them into 4 sections. The first section presents the approach to the research problem where we detail the objectives, hypotheses, limitations and variables. The second section presents the theoretical framework in which we detail the definitions, themes and parameters that tend to the description and characterization of rock massifs for geotechnical purposes; the geomechanical classifications of rock massifs, which despite the time elapsed since their appearance and the implementation of numerical methods are still a useful collection tool. data for the characterisation of rock massifs; the types of support applied in underground mining and the geological environment present in the deposit. The third section presents the methodology of the research where we detail the techniques of data processing and analysis. The fourth section presents the results and their interpretation through the geomechanical analysis oriented to the design of the underground excavations with the index Q, RMR, RQD and GSI of the rock mass, which will help us to determine the quality of the rock mass and implement the optimal support in the excavation, giving it the equilibrium and stabilization according to the dimension. of the work.

Keywords: Geomechanical analysis, rock massif, support, underground workings.

INTRODUCCIÓN

En base a la información recopilada del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo (MTPE) y Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), el 25 % de accidentes mortales es producido por temas relacionados al sostenimiento de labores subterráneas, por la cual se pone énfasis en dicho tema para evitar y/o reducir el % de fatalidad en la interacción de la vida humana con dicha actividad.

Es importante realizar un buen diseño geomecánico subterráneo donde debe involucrar una serie de factores y problemas de mecánica de rocas, que si no se consideran con antelación y no se estudia a profundidad pueden alterar significativamente la explotación por taladros largos. Para realizar el diseño de las perforaciones de taladros largos es importante el sistema de información geomecánica, relacionado a las características del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes, además es importante los ensayos de laboratorio y los ensayos insitu, con la finalidad de determinar las propiedades físico mecánicas de las rocas y minerales.

La mina Islay se encuentra a 4600 msnm en la región Pasco del Perú; donde la temperatura es muy variable desde -10°C en las noches hasta 20°C en el día; con una temperatura ambiente medio de 8°C . Las condiciones climáticas y de la roca contribuyen a que las condiciones de explotación sean una tarea de difícil proceder, con una geología de rocas sedimentarias muy fragmentadas y alteradas por acción meteórica e hidrotermal, sus excavaciones subterráneas superan una profundidad de 450 m. Las características geomecánicas que presentan las rocas involucradas en estudio, será una información de entrada en cada proceso relacionada con la extracción con el objetivo de generar una mina segura y estable, considerando el área subterránea de la UM Islay.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema general	2
1.3.2.	Problemas específicos	2
1.4.	Formulación de objetivos	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	3
1.6.	Limitaciones de la investigación	3

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	4
2.2.	Bases teóricas – científicas	4

2.3.	Definición de términos básicos	74
2.4.	Formulación de hipótesis.....	78
2.4.1.	Hipótesis general	78
2.4.2.	Hipótesis específica	78
2.5.	Identificación de variables.....	78
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	79

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1.	Tipo de investigación	80
3.2.	Nivel de investigación	80
3.3.	Métodos de investigación.....	81
3.4.	Diseño de investigación.....	81
3.5.	Población y muestra	81
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	82
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	82
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	82
3.9.	Tratamiento estadístico	83
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica.	83

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	84
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	90
4.3.	Prueba de hipótesis.....	100
4.4.	Discusión de resultados	107

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La minería subterránea en el Perú y a nivel internacional sigue siendo una de las actividades que tiene un alto riesgo de accidentes e incidentes durante el proceso de extracción del mineral, durante los últimos 15 años el desprendimiento o caída de rocas se convirtió en una de las principales causas de accidentes mineros. Esto se debe a las alteraciones producidas en el macizo rocoso como consecuencia de factores geológicos, ambientales o las altas presiones en el terreno expuesto durante el minado.

Con el fin de establecer estrategias de minado que permitan controlar mejor las condiciones de estabilidad local y global de las excavaciones, contribuyendo así a mejorar los estándares de seguridad y eficiencia en la operación minera es necesario realizar un análisis geomecánico para determinar la caracterización del macizo rocoso.

Para tener un mejor conocimiento de las condiciones de la masa rocosa, se considera el estudio detallado de la geomecánica, que permitirá

tener diferentes parámetros del macizo rocoso y estructura mineralizada donde se ejecutan los trabajos de minado en el Manto Anita de la Unidad Minera Islay.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

Los resultados obtenidos en el análisis geomecánico nos ayudará a determinar cuan competentes son las rocas cajas y zonas de mineralización circundantes en la zona de estudio, específicamente en la U.M. Islay, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco.

1.2.2. Delimitación Temporal

La investigación de análisis geomecánico es únicamente para el manto Anita, para determinar si el método de explotación por taladros largos es viable en todos los procesos de minado, por su facilidad en la preparación, alta recuperación del mineral y alto volumen de tonelaje de mineral explotado.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿El análisis geomecánico determinará el tipo de sostenimiento adecuado a utilizar en la zona de estudio para la explotación por taladros largos en el manto Anita, Mina Islay?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿La competitividad del macizo rocoso será determinante para utilizar el método de explotación por taladros largos?
- b) ¿Qué tan beneficioso es la aplicación del método de explotación con taladros largos en el manto Anita, Mina Islay?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Conocer el tipo de sostenimiento adecuado a utilizar mediante la aplicación de la geomecánica durante la explotación por el método de taladros largos en las operaciones del manto Anita, Mina Islay.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Determinar en qué dimensión un análisis geomecánico acertado en la zona de estudio nos ayudara a mejorar variables técnicas y operativas en la explotación por el método de taladros largos.
- b) Evaluar si las especificaciones geomecánicas utilizadas en las zonas de estudio son las adecuadas para tomar decisiones acertadas durante la explotación del manto Anita y no retrasar el ciclo de minado.

1.5. Justificación de la investigación

El presente trabajo se realiza para solucionar problemas de inestabilidad en las labores mineras, con la aplicación de un sostenimiento adecuado de acuerdo al tipo de roca caja y el tipo de mineralización, esta aplicación contribuye a brindar una solución integral de seguridad minera y lograr una explotación racional, segura y rentable que ayudará a incrementar el tonelaje y la recuperación del mineral explotado reduciendo costos en la operación.

1.6. Limitaciones de la investigación

Para la realización del presente trabajo de investigación se presentaron diversas dificultades siendo uno de los principales la falta de ventilación en algunas labores subterráneas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes locales

Asesoría geomecánica “Evaluación Geomecánica del Minado Subterráneo de Unidad Minera Animón”

Compañía Minera Chungar S.A.C. (CHUNGAR)

Autor: DCR Ingenieros S.R.Ltda. (DCR) (2017)

El objetivo principal de la asesoría geomecánica es ver si el método de minado que actualmente se utiliza es el adecuado y las posibilidades que se tienen de introducir mejoras. Para cada caso se darán recomendaciones sobre las dimensiones de las excavaciones, puentes rocosos, bancos de mineral a romper, los esquemas y secuencia de avance del minado, el sostenimiento, el relleno, el monitoreo instrumental y el tratamiento del agua en el control de la estabilidad de las labores mineras.

Tesis de pre grado, “Aplicación del método de explotación por taladros largos en Veta Virginia de la unidad San Cristóbal, Compañía Minera Volcan S.A.A.”

Universidad Nacional del Altiplano

Autor: Roger VILLALTA COLCA (2018)

Tuvo como objetivo determinar las características geomecánicas del macizo rocoso y de la geometría del depósito del mineral para la explotación de la veta. De acuerdo al objetivo general, los resultados obtenidos son favorables para aplicar el método de explotación por taladros largos en veta Virginia de la Compañía Minera Volcan S.A.A., con RMR de la roca encajonante 47, y RMR de la mena 41, tipo de roca III de calidad media o regular evaluados en siete subniveles; con geometría del depósito mineral irregular con potencia promedio de la veta de 3,017 m con variaciones significativas, que tiende a incrementar la potencia a medida que se va profundizando.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Tesis de postgrado “Diseño óptimo de minería subterránea auto soportada”

Universidad de Chile

Autor: María GRIGALIUNAS GOMPERTZ (2016)

El investigador tiene como objetivo generar e implementar un modelo de optimización para abordar la problemática de diseño y obtención del layout óptimo en minería subterránea auto-soportada; en particular Sublevel Stopping (SLS). Mediante la incorporación de restricciones técnico-económicas y geo-mecánicas, con el fin de obtener los caserones que maximicen el beneficio total de extracción. A partir de la investigación realizada fue posible generar e implementar un modelo

de optimización que permite la obtención del layout óptimo de caserones en minería subterránea de Sublevel Stopping sin relleno, sujeto a restricciones que permiten obtener sustento a la explotación, y entregan resultados realistas. Básicamente, se comparó el modelo generado con la heurística de Sandanayake, la que permite obtener el resultado óptimo de caserones mediante la generación de una familia de sets únicos de caserones que cumplen con las restricciones impuestas, para escoger aquel set con mayor beneficio económico.

2.2. Bases teóricas – Científicas

2.2.1. Geología general

Las capas rojas de la Formación Casapalca y los productos efusivos del Volcánico Calipuy, son los grupos litológicos predominantes. Los primeros se depositaron entre el Cretácico Superior al Terciario Inferior, como consecuencia del levantamiento de los Andes al inicio de la Orogenia Andina. Consisten de depósitos molásicos de ambiente continental, en cuencas lacustrinas formadas por el retroceso de los mares; están representadas por areniscas, areniscas conglomerádicas, margas, lutitas calcáreas y lentes de calizas; se presentan con coloraciones rojizas, verdosas y violáceas; importantes horizontes de conglomerados se encuentran en la parte inferior y media. En la parte superior de la secuencia, es conspicua la ocurrencia de calizas oscuras a beige de grano fino y presencia de chert oscuro; las calizas se dan como lentes y horizontes, intercalados entre las margas y areniscas.

Cubriendo en discordancia a las Capas Rojas, se tiene productos efusivos lávicos, tufáceos y tobas, variando en composición de andesitas a dacitas y riolitas, con texturas afáníticas y porfiríticas, en tonalidades grises, verdosas, violáceas y marrones; adicionalmente se han reconocidos niveles aglomerádicos con algunos

clastos sedimentarios, los cuales presentan algún grado de asimilación. La secuencia descrita pertenece a la Formación Calipuy de edad Terciario Medio. Tobas tipo ignimbritas ocurren como remanentes cubriendo a las anteriores, cuya edad sería pleistocénica, depositada sobre la superficie “Puna” esta última modelada en el Plioceno.

Un último evento importante es la glaciación del Pleistoceno, que modeló el paisaje actual, erosionando y formando los numerosos lagos y lagunas.

2.2.2. Geología local

Geológicamente la Mina Islay se encuentra en el complejo metalogénico de Huarón, cuya área corresponde a un ambiente sedimentario con depósitos de cobertura superficial por volcánico-sedimentarios; donde predominan las rocas clásticas y volcano-clásticas; la ocurrencia es en estratos sub horizontales de margas y tobas dacíticas; la alteración regional es intensa, con diferentes grados de alteración hidrotermal.

a) Estratigrafía

Formación Jumasha Cretácico Inferior – Superior: Esta Formación corresponde al Cretácico Superior, constituida por calizas y por dolomías grises claras y rosadas intercaladas con pequeños horizontes de carbón y presencia de fósiles (gasterópodos) mal preservados. El afloramiento más típico de esta Formación se encuentra en el distrito de Canchacucho a 12Km al Norte de Animón. En la parte Sur de este paquete sedimentario hay calizas de color gris con concreciones, lentes o bandas de chert paralelas a la estratificación, la base del afloramiento está expuesta y solo se conocen 100m de potencia. Esta Formación infrayace mediante una discordancia angular al Grupo Casapalca.

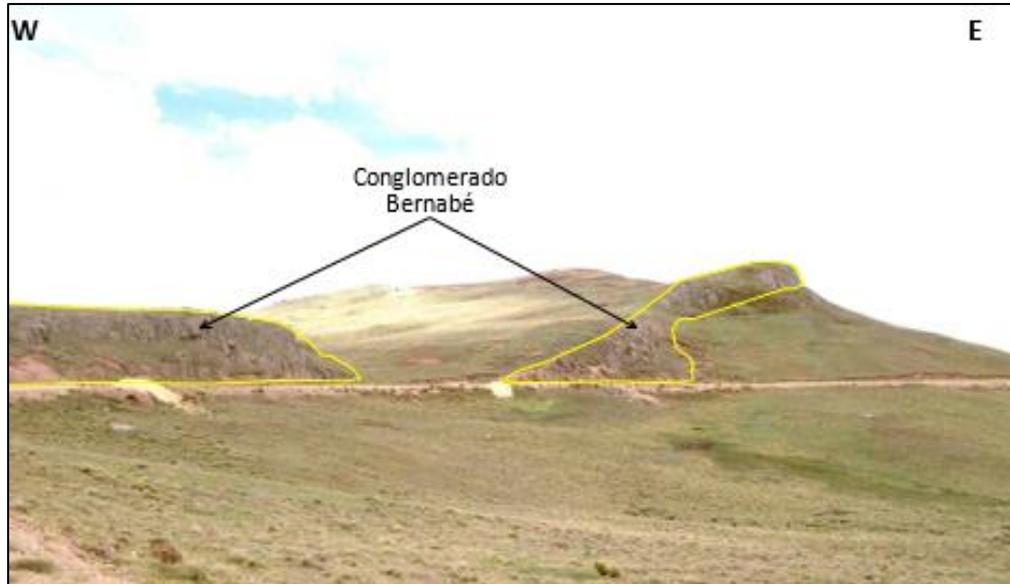


Fotografía 1: Falla regional de sobre escurrimiento, nótese las calizas del Jumasha (Mesozoico – Cretácico Inferior), las capas rojas (Cenozoico – Terciario Inferior) y el volcánico Calipuy. Foto tomada mirando al norte.

b) Grupo Casapalca (capas rojas) Cretácico Superior – Terciario Inferior

- **Formación Inferior:** Está constituida por margas y areniscas, se ubica en la parte central y más profunda del anticlinal de Huarón, su grosor sobrepasa los 800 m.
- **Formación Media:** Aflora en el flanco Este del anticlinal Animón–Huarón y es continuo por varios kilómetros con una potencia de 485m. Se distinguen los siguientes horizontes:
- **Horizonte Base:** Conformada por el conglomerado Bernabé que es un metalotecto importante de la región con un espesor de 40m y está constituido por clastos de cuarcita de 2-10cm de diámetro y matriz arenosa.
- **Horizonte Central:** Constituido por areniscas y margas rojas, tiene una potencia de 420m.

- **Horizonte Techo:** Este horizonte está compuesto por dos franjas de chert. Por ser un importante control litológico se le ha denominado Chert de Sevilla a la franja inferior (Ver Figura N°3.3) y Chert de Córdoba a la



franja superior. Córdoba es de color violáceo y gris claro, masivo, lacustrino con un espesor de 25m.

Fotografía 2: Las líneas de color amarillo delimitan el Conglomerado Bernabé (Horizonte Base - Formación Media del Grupo Casapalca), foto mirando al Norte. (Ref. Área de Geología- Chungar).



Fotografía 3: Las líneas de color amarillo delimitan el Chert de Sevilla (Horizonte Central - Formación Media del Grupo Casapalca), foto mirando al Norte, flanco Oeste del Anticlinal Huarón – Animón. (Ref. Área de Geología-Chungar).

- **Formación Superior:** Formación principal debido a que se extiende la Veta Islay. Se divide en tres horizontes:
- **Horizonte Base:** En la base tiene 5 niveles de conglomerados que juntos alcanzan un espesor de 80m, los sedimentos detríticos provienen de la erosión de la Formación Media; hay grandes bloques de chert re depositados, sigue una secuencia de margas rojizas con delgados niveles de areniscas rojizas y niveles calcáreos. En total esta unidad tiene un espesor de 300m.
- **Horizonte Central:** Se inicia con conglomerados gruesos favorables para la mineralización, es un metalotecto importante de la región conocido como “Conglomerado San Pedro” (Ver Figura N°23), tiene clastos grandes de cuarcita y caliza. Los clastos son fácilmente reemplazados por sulfuros. Tiene un espesor de 20 a 50m. Los clastos de cuarcitas representan el 70%, las calizas, limolitas y areniscas el 30%, con matriz calcárea. Las margas que están encima del conglomerado son rojizas a gris verdosas, con algunos lechos de conglomerados polimícticos (clastos de cuarcita 65%, calizas, margas y areniscas 35%) con matriz calcárea. Hacia el tope se encuentran areniscas verdosas, margas pardas rojizas con esporádicos horizontes lenticulares de calizas.
- **Horizonte Techo (Quimacocha):** Tiene una alternancia de areniscas con detritos volcánicos, conglomerados intermedios, arcosas, areniscas

conglomerádicas, areniscas y niveles calcáreos chérticos de 30m y areniscas margosas.

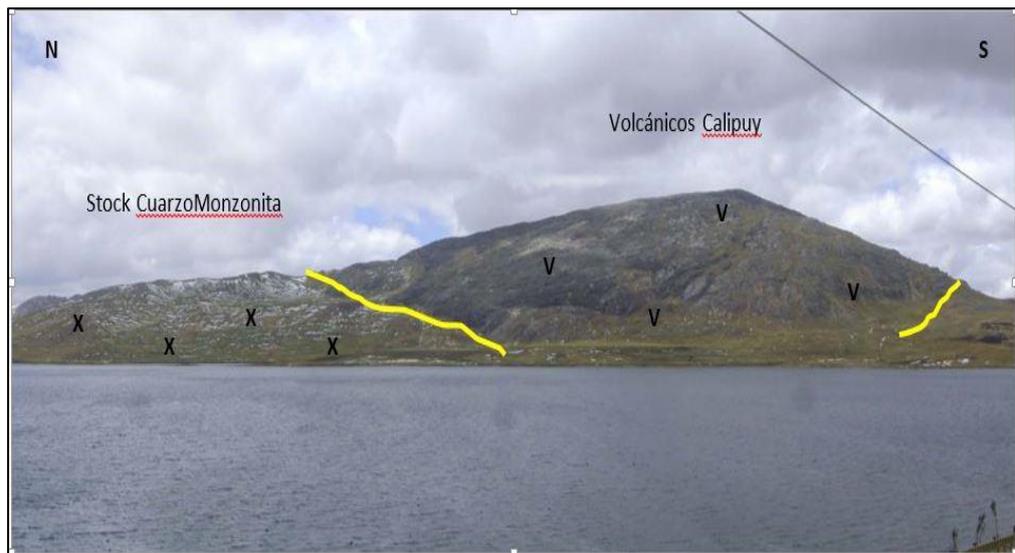


Fotografía 4: Nótese el Conglomerado San Pedro (Horizonte Central - Formación Superior del Grupo Casapalca) sobreyace discordantemente sobre sedimentos conformados por areniscas y limolitas (Horizonte Base – Formación Superior del Grupo Casapalca). Vista Mirando hacia el Noreste. (Ref. Área de Geología- Chungar).

c) Rocas volcánicas

- **Grupo Calipuy - Terciario Medio (Oligoceno- Mioceno):** En el sector Este del área existen afloramientos de derrames lávicos y piroclastos de naturaleza dacíticas y ríolíticas de color gris blanquecinos, presentan una pseudo estratificación. La pseudo estratificación se encuentra discordante a las rocas sedimentarias y carbonatadas de la Formación Casapalca extendiéndose más hacia el Oeste y la divisoria de aguas de Antajirca (cerca al prospecto Don Miguel).

- **Volcánicos Huayllay - Terciario Superior (Plioceno):** Está compuesto por tufos grises, brechas y cenizas volcánicas de carácter ácido, riolitas y riolacitas, de grano grueso, de color gris marrón claro. Presenta estructura fluidal y hay presencia de cuarzos bipiramidales de 1 a 5mm y cristales de biotita. En algunas zonas hay ignimbritas. En la zona de Huayllay, La Calera y Canchacucho, los volcánicos Huayllay cubren gran extensión de



terreno (16Km de largo NS y 0.7Km de ancho EW), con formas caprichosas, producto del intemperismo y erosión, conjugados con sistemas de disyunción columnar. Suprayace a las Capas Rojas superiores en discordancia angular.

Fotografía 5: Las líneas de color amarillo delimitan las rocas del Volcánico Calipuy que suprayace al intrusivo de composición Cuarzo Monzonita. Foto mirando al Este de la mina Islay. (Ref. Área de Geología- Chungar).

Rocas Intrusivas (Oligoceno): Al Este de la propiedad aflora un Stock intrusivo de composición cuarzo monzonita, que corta a las rocas clásticas y carbonatadas del Grupo Casapalca. El afloramiento presenta una forma tabular con dirección paralela a la estratificación (N 10-20° W), este Stock no ha originado

ningún tipo de alteración en el contacto con las margas, areniscas y conglomerados aflorantes en el sector. El relajamiento de las fuerzas tectónicas compresionales pre intrusivas en el anticlinal Animón – Huarón y la acción del rebote elástico, concentrado a lo largo de la zona axial longitudinal y de la zona axial transversal (parte convexa del anticlinal flexionado) originaron zonas de tensión o de debilidad a lo largo de los cuales se produjeron rupturas en el anticlinal. Estas fracturas sirvieron posteriormente de canales de circulación y de precipitación de los fluidos ígneos de composición monzonítica cuarcífera y se formaron diques axiales longitudinales y transversales.

- Los diques axiales transversales intruyen la parte oriental del anticlinal. En esta zona se observan diques orientados en dirección E-W y N85°W distribuidos en una zona de 300m de ancho. Hacia el Este los diques se adelgazan y se extienden por 350-400m de longitud.
- Los diques axiales longitudinales se presentan como un enjambre de diques dentro de un cuerpo lenticular, cuya parte más ancha tiene 1.4km y se orienta al N25°W. Esta parte se adelgaza progresivamente en su recorrido de 3 Km al norte y de 5 Km hacia el Sur. Los diques axiales longitudinales muestran una duplicación en los afloramientos debido a la acción de fallas normales de edad post intrusiva y pre mineral, las cuales se originaron durante el movimiento de ascensión de la parte central del anticlinal Animón de doble hundimiento. El ancho de los diques longitudinales en superficie y en la parte central alcanza hasta 350m, en profundidad tienden a adelgazarse y a buzarse 85°-88° W.

En la zona central del anticlinal los diques axiales longitudinales y los diques axiales transversales se unen, adquieren su mayor potencia y son más abundantes. Los diques longitudinales y transversales han desplazado muy pocos

metros a los horizontes litológicos y no han producido metamorfismo de contacto en las rocas encajonantes. La acción de las soluciones hidrotermales post intrusivas ha producido seritización, caolinización y fuerte piritización en los diques, por los cuales las texturas y la composición modal de los intrusivos son difíciles de visualizar.

Material Cuaternario: Generalmente son depósitos fluvio-glaciares como morrenas, turbales y conos de escombros que cubren las partes bajas.

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS					UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS					SUCESO GEOLOGICO	MILLONES AÑOS	ROCAS INTRUSIVAS
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD	GRUPO	FORMACION	UNIDAD	COLUMNA	SIMBOLO	GROSOR mis.			
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Inf	PALEOCENO	CASA PALLCA	INFERIOR		Jm	550	Calizas masivas de colores claros.	EROSION GLACIAR ELEVACION ANDES 4,000	1
									800	Areniscas calcareas, limolitas y margas rojizas.		
									40	Conglomerado BERNABÉ con clastos de caliza.		
									420	Areniscas calcareas y margas rojizas.		
									25	Chert SEVILLA calcáreo violaceo.		
									300	Margas limolíticas rojizas con delgados nvs. de areniscas rojizas.		
									50	Conglom. "SAN PEDRO"		
									100	Margas limolíticas rojizas.		
									20	Calizas finas con chert irregular.		
									>50	Margas limolíticas rojizas con Nvs. areniscas, lodolitas, limolitas y clz.		
CENOZOICO	TERCIARIO	INFERIOR	MIO-CENO	CALIPUY	SUPERIOR	HUY-LLAY		KsTi-ca	200	tobas ignimbritas riolitas y andesitas	PLEGAMIENTO QUICHUANO	13
									20	morrenas con clastos angulosos a subredondeados en matriz arenosa.		
									10	Depósitos fluvio-glaciares Limo-Arcilla-gravoso		
									1000	Volcanicos, piroclásticos, lavas de andesitas y dacitas porfiríticas.		
									36	MINERALIZACION FRACTURA INTRUSION		
									25	PENEPLANIZACION SUPERFICIE PUNA		
									58	ANTICLINAL DE HUARÓN		
									63	PERUANA FORMACION DE LOS ANDES		
									90	FORMACION DE LOS ANDES		
									113	FORMACION DE LOS ANDES		

Figura 1: Columna Estratigráfica Local de la Mina Islay (Ref. Área de Geología- Chungar).

2.2.3. Geología estructural

Comprende los elementos estructurales que controlan la estabilidad de las excavaciones subterráneas, en las que contemplamos la orientación de los estratos, pseudo estratos, fallas geológicas, pliegues y discontinuidades.

La influencia de los planos de discontinuidad sobre la estabilidad de las excavaciones depende de su orientación, número de familias, espaciamiento y características entre sí.

Las discontinuidades y sus características son los parámetros que ejercen mayor influencia en las propiedades del macizo rocoso, por lo que, en las estaciones micro tectónicas consideramos estos aspectos como las más importantes, juntamente con la rugosidad, continuidad, separación, alteración de las cajas y propiedades de relleno.

Las evidencias de fallamiento se encuentran en las unidades volcánicas, al oeste de veta principal del yacimiento, la veta Islay, en donde está presente un sistema de fallamiento N 40°– 60° E, con buzamientos de alto ángulo al oeste como respuesta a esfuerzos compresivos NE con una componente horizontal del tipo sinextral. La falla principal aflora en los 4300 m.s.n.m., perdiéndose por la cubierta cuaternaria. Las fallas presentes en el yacimiento.

2.2.4. Mineralización

Inmediatamente después de la formación de las primeras fracturas pre minerales que se iniciaron en la parte central de la zona de trabajo, las soluciones hidrotermales primitivas las invadieron y circularon a lo largo de las fracturas a temperaturas relativamente altas. Los compuestos llevados en solución fueron precipitados en el siguiente orden paragenético: cuarzo lechoso, pirita, enargita y

tetraedrita. La enargita es abundante en las partes centrales del distrito y la tetraedrita menos abundante.

La precipitación se realizó en un tiempo relativamente prolongado, lo que permitió la formación de cristales de diámetros medianos. En respuesta a pulsaciones tectónicas adicionales se reabrieron y ampliaron las fracturas existentes y se formaron nuevas fracturas adyacentes. También se produjo nueva actividad magmática, con la consecuente inyección de un segundo ciclo de mineralización a mediana temperatura.

El movimiento diferencial de las cajas permitió que los precipitados del primer ciclo fueron brechados, intruídos y cementados por los minerales de la segunda etapa de mineralización, cuyo orden paragenético es el siguiente: cuarzo lechoso, pirita, marmatita y galena.

El tiempo de precipitación del segundo ciclo fue más prolongado que en el primer ciclo y el enfriamiento fue más lento, por lo cual se tienen cristales de mayor diámetro. Este tipo de mineralización ha contribuido con el 50-60% del volumen total de los precipitados minerales.

La renovación de la actividad tectónica en una época posterior a la consolidación de los precipitados del segundo ciclo permitió que la parte central del anticlinal Animón – Huarón, se elevara aún más, las fracturas preexistentes se alargaran y profundizaran, formando nuevas estructuras. El brechamiento y el consecuente aumento en la permeabilidad de los minerales depositados facilitaron la circulación de nuevas soluciones hidrotermales de baja temperatura. Los precipitados respectivos presentan texturas colomorfas, botroidales y una cristalización fina, que indica una precipitación rápida en un tiempo relativamente corto. Lo característico de este ciclo es la precipitación abundante y continua de

carbonatos, se inicia con la siderita y evolucionan gradualmente a dolomita, rodocrosita y calcita. Pertenecen a este ciclo además de los carbonatos, la baritina, esfalerita, galena y calcopirita.

Posterior a la precipitación de la esfalerita y galena de la tercera fase de mineralización se inició una débil lixiviación hipógena que produjo una disolución parcial en los cristales y en las paredes de pequeñas fracturas.

2.2.4.1. Geometría de los cuerpos mineralizados

La geometría de los depósitos del yacimiento de Islay está constituida por estructuras vetiformes (vetas), cuerpos mineralizados (bolsonadas) y afloramientos.

Estructuras Vetiformes (Vetas): Las Vetas son las fracturas preliminares que han sido rellenas con minerales de Fe, Cu, Zn, Pb y Ag. Son más de 50 las Vetas que afloran en Animón – Islay -Huarón. Las vetas más importantes proyectadas y desarrolladas en Animón son 4, en Islay 3 y en Huarón 25. Estos depósitos contienen el mayor volumen de la mineralización económica del distrito. La amplitud de los desarrollos horizontales en cada una de las estructuras va desde centimétricas en las Vetas de menor importancia como la Veta NE y con 300-1800m en las Vetas de mayor importancia como la Veta Principal. Estos depósitos afloran parcialmente, pero gracias a la información de perforación diamantina y desarrollo de galerías, se sabe que llegan a una profundidad de 200m. La potencia de las Vetas varía desde unas decenas de centímetros hasta 8-10 metros.

Las Vetas al cruzar los diques monzoníticos tienden a ramificarse y al ingresar a los conglomerados reemplazan a clastos calcáreos. Muy

pocas Vetas han sido disturbadas por fallamientos post-mineral transversal o concordante, la fuerte alteración hidrotermal de las cajas (caolinización y silicificación) está relacionada al 1er y 2do ciclo de mineralización.

La mineralización en Islay consiste en un relleno irregular de carbonatos emplazados en fallamiento de cizalla, la mineralización consiste de sulfuros base (Pb, Zn, Cu), y Platas Rojas, dispersos en el relleno carbonatado.

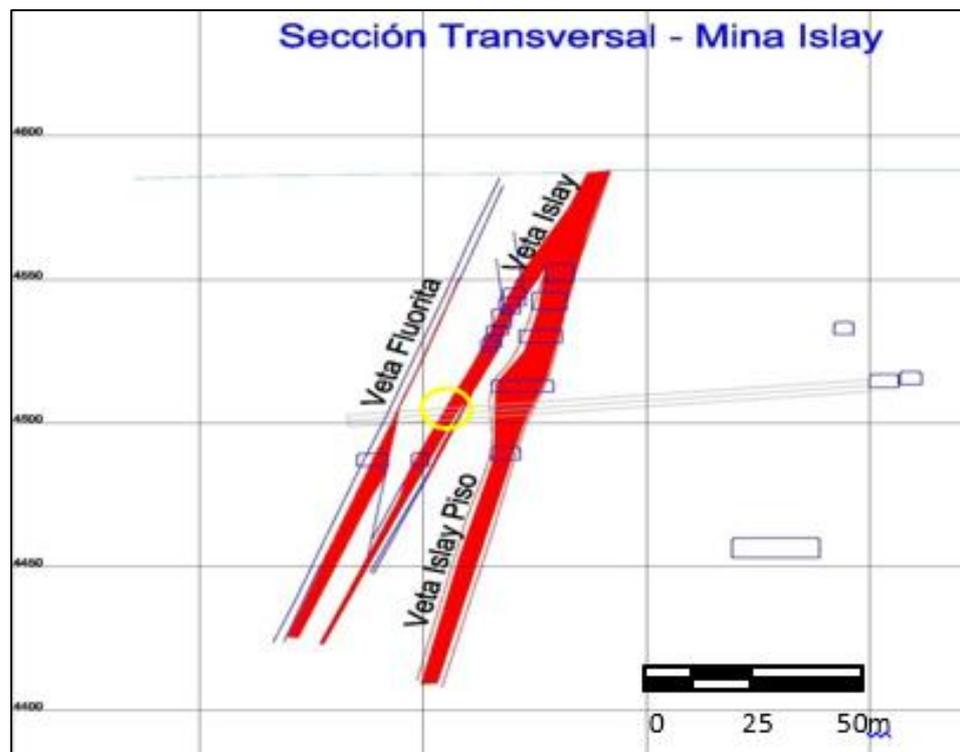


Figura 2: La mineralización se presenta con altos valores de Ag en la parte superior y disminuye rápidamente en profundidad. (Ref. Área de Geología- Chungar).



Fotografía 6: Veta Islay delimitada con líneas amarillas, con venillas de calcita y rodocrosita, se observa la textura brechada en marga gris. (Ref. Área de Geología- Chungar).

Cuerpos Mineralizados (Bolsonadas): Se postula que los esfuerzos compresivos formadores del anticlinal de Animón-Huarón han actuado de maneras diferentes de Este-Oeste y viceversa en Animón, con un mayor relajamiento o movimientos distensivos hacia el Oeste ayudadas por la reapertura de fracturas pre existente. Esto dio lugar a una gran ramificación de grietas y su posterior mineralización.

Las bolsonadas o cuerpos mineralizados se ubican en la parte Norte de la Veta Islay y se han formado en el área de intersección de las Vetas E-W con el posible conglomerado Bernabé. Estos cuerpos mineralizados tienen contornos horizontales irregulares y elongados en dirección Este-Oeste. La mineralización en los conglomerados se presenta diseminada y de reemplazamiento de la matriz calcárea.

Afloramientos: En Islay el reconocimiento y cartografía de mantos se ha realizado en superficie al Este de la Veta Islay, también hay

labores y sondajes diamantinos. El afloramiento ubicado es una isla de caliza silicificada, se postula que es un horizonte de un manto, la observación minuciosa indica que tiene rumbo N45°W y buzamiento 60°SW, presenta venillas de cuarzo y calcita, puntos de galena y esfalerita. Los minerales se encuentran fuertemente lixiviados. El protolito es una caliza silicificada en partes con oquedades y compacta en otras.



Fotografía 7: Manto aflorando en el bloque Oeste con respecto a la Veta Islay, constituido por caliza silicificada con presencia de mineralización de Galena y esfalerita. (Ref. Área de Geología- Chungar).

Manto Anita: Esta estructura conceptualmente es un estrato de chert, que se encuentra brechado. En las áreas circundantes a las vetas se encuentran mineralizadas, no se sabe si esta mineralización continua más allá de las áreas de influencia de las vetas, suponemos que las vetas son los alimentadores (feeders) de la mineralización en los mantos, en este distrito consecuentemente la mineralización en el manto debe estar restringida a las cercanías de las vetas. Los anchos de esta estructura a juzgar por los interceptos de los sondajes son variables, esto sería función de la cuenca

donde se han desarrollado, de manera que hará falta conocer esta variable que implica el potencial que encierra. Al parecer en las cercanías del eje anticlinal indicaría que las potencias son importantes entre 8 a 12m en promedio, hacia el este el sondaje DDHSOP12001 intercepta 4m de chert estéril sin mineral, lo cual respalda esta hipótesis.

En las labores que se están explotando el manto las leyes son variables, controlado por estructuras falla que han desplazado sobre todo los del sistema E-W, evidentemente ha existido un brechamiento simultaneo con la mineralización por lo que se pueden observar clastos de mineral dentro de matriz de mineral tardío y finalmente por carbonatos, estas zonas tienen mayor contenido mineral. Dentro de esta mineralización se muestra la Galena, esfalerita, proustita, y como Ganga Carbonatos Piritita y Rodocrosita; Los clavos mineralizados están relacionados a esta característica donde las leyes en promedio reportan entre 15 a 20 Oz/Ton Ag, en anchos promedio de 8 a 10m.

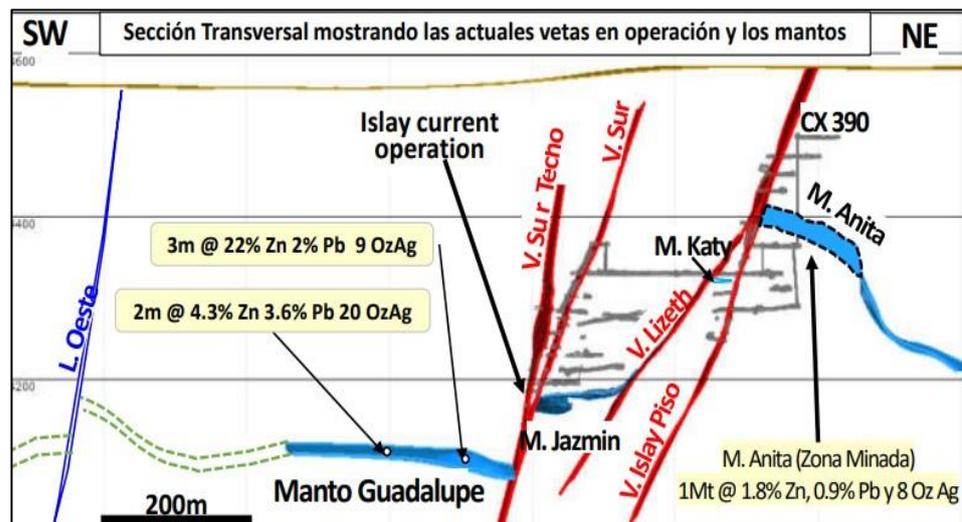


Figura 3: Sección transversal mostrando las actuales vetas y mantos en operación (Fuente: Volcan compañía minera – 2019). (Ref. Área de Geología- Chungar).

2.2.4.2. Zonamiento

En el distrito minero Animón-Huarón-Islay, los precipitados de los diferentes ciclos de mineralización se han distribuido en zonas concéntricas tridimensionales asimétricas.

Los minerales de mayor temperatura, correspondientes al 1er ciclo de mineralización, se ubican en la parte central y se caracterizan por estar distribuidos en dos subzonas: Una en la parte central o núcleo compuesto esencialmente de pirita y otra que rodea a la anterior compuesta de abundante pirita-tetraedrita.

Los minerales de mediana temperatura, correspondientes al 2do ciclo de mineralización, se ubican en la zona intermedia. Estos precipitados instruyen y traslapan a los minerales del 1er ciclo y originan las asociaciones de minerales de cobre-zinc y plomo o minerales triples. El mineral característico es la marmatita acompañada de pirita y de poca galena. En este ciclo se ubican la mayor cantidad de depósitos minerales del distrito.

Los minerales de baja temperatura que han sido originados durante el 3er ciclo de mineralización, se han precipitado en las fracturas más jóvenes de la periferia del distrito. Estos precipitados conforman la zona exterior de mineralización, los minerales típicos son esfalerita, galena en mega cristales y ganga botroidales de siderita, baritina y rodocrosita. Debido a las reaperturas de las fracturas, los precipitados del tercer ciclo han traslapado a las zonas ocupadas por los precipitados anteriores.

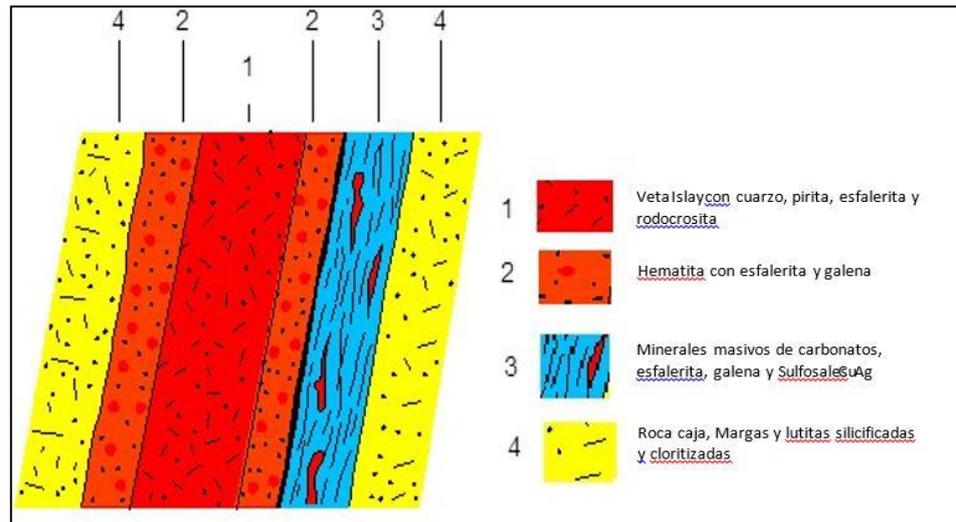


Figura 4: En el corte esquemático se muestra el comportamiento diferenciado del emplazamiento de los fluidos mineralizantes al atravesar distintos tipos de rocas (Zonación mineralógica). (Ref. Área de Geología-Chungar).

2.2.4.3. Alteración hidrotermal

El primer ciclo de mineralización está asociado a una alteración zonada de las rocas: alteración sílice-potásica muy cerca de las Vetas y una alteración propilítica en la periferia. El segundo ciclo de mineralización está asociado a una alteración argílica y silicificación con epidotización. El tercer ciclo de mineralización está asociado a una alteración argílica avanzada a pervasiva. A continuación, se describe con detalle las alteraciones presentes en el Yacimiento.

- a) **Silicificación:** Es una de las alteraciones más notorias y da mayor dureza a las margas. La silicificación en los horizontes de chert es característica porque es favorable para la diseminación de sulfuros de mena.
- b) **Piritización:** Determinada por la presencia de pirita diseminada en las rocas encajonantes, esta alteración es menor en rocas compactadas y

duras como cuarcitas y mayor en margas, conglomerados y rocas monzoníticas.

- c) **Cloritización:** Es una característica propia de las margas del Grupo Casapalca dándole una tonalidad verdosa.
- d) **Dolomitización:** Es poco frecuente en la zona de estudio (Huarón), donde ocurre un proceso de reemplazamiento de la calcita (CaCO_3) por dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), Cambiando la roca original de Marga o Caliza a Dolomías.

2.2.5. Geomecánica

2.2.5.1. Introducción

En las siguientes líneas detallaremos los estudios geomecánicos que se ejecutaron en el área de Mantos, dando mucha importancia en el Manto Anita; de la presente investigación se obtendrá medidas muy eficientes para poder aplicarlas en la selección óptima de los métodos de explotación.

2.2.5.2. Caracterices del yacimiento

Al empezar las evaluaciones geomecánicas, se detallan muchas especificaciones como: geométrica, orientaciones y buzamientos del Manto Anita. El manteo promedio que presenta es de 25° , este es irregular pues en algunas zonas inflexiona a buzamiento $>25^\circ$ así como también menor a este ángulo. Aparte de ello presenta una potencia promedio de 4 metros y una ley de Ag 5 a 14 Oz/Ton y Zn de 3%.

2.2.5.3. Caracterices geomecánica

El objetivo de la caracterización geomecánica es analizar la conducta del macizo rocoso en forma cualitativa, para el cual se recurre a

los criterios de clasificación geomecánica, basados en el dominio estructural de las rocas, donde consideramos el espaciamiento de fracturas, aberturas, rugosidad de planos, relleno de fisuras, grado de alteración de las rocas, entre otros.

Para este trabajo consideramos estaciones micro tectónicas, en las galerías ya desarrolladas de los diferentes niveles y la Rampa de acceso; además, la evaluación de los testigos diamantinos realizados; donde consideramos los siguientes aspectos:

Aspectos Morfológicos

La morfología de la estructura mineralizada es una de las más importantes para la determinación del método de minado, esta tiene una irregularidad en toda su longitud tanto horizontal como vertical. La sinuosidad, es variable desde centímetros hasta metros, como también los anchos de la veta que van desde 0.80m hasta 10.00m, que algunos tramos tienen entrantes a las cajas que son pequeños sigmoides y que tienen que ser evaluados minuciosamente previo a los trabajos de explotación.

Aspectos lito estratigráficos

La estructura mineralizada está localizada en una serie de rocas sedimentarias y volcánico clásticas en la parte superior, estas muestran una gran diferencia en cuanto a sus propiedades geológicas ingenieriles, que hacen que la roca no presente características uniformes y apropiadas para la excavación.

Es notable el halo de silicificación en las rocas encajonantes próximas a la estructura mineralizada; que se ha formado por eventos múltiples de soluciones silíceas a lo largo de fracturas, que en algunos casos

se encuentran como relleno de las mismas, dando a las cajas una mayor resistencia por silicificación.

La silicificación no es homogénea en todas las rocas encajonantes, los anchos son variables que van hasta 35m de ancho, dependiendo de los tipos de rocas emplazadas, es mayor en las margas y menor en las volcánicas por su naturaleza plástica.

Aspectos Estructurales

Elementos estructurales que controlan la estabilidad de las excavaciones subterráneas, en las que contemplamos la orientación de los estratos, pseudo estratos, fallas geológicas, pliegues y discontinuidades. La influencia de los planos de discontinuidad sobre la estabilidad de las excavaciones depende de su orientación, número de familias, espaciamiento y características entre sí.

Las discontinuidades y sus características son los parámetros que ejercen mayor influencia en las propiedades del macizo rocoso, por lo que, en las estaciones micro tectónicas consideramos estos aspectos como los más importantes, juntamente con la rugosidad, continuidad, separación, alteración de las cajas y propiedades de relleno

Aspectos geodinámicos

Los fenómenos geodinámicos que pueden tener cierta influencia en la explotación, en la estabilidad de las excavaciones subterráneas y en el ámbito circundante a la mina son; derrumbes, caída de rocas y procesos erosivos

Después de evaluar los distintos aspectos mencionados líneas arriba, se concluyó lo siguiente en cuanto a la evaluación geomecánica del

yacimiento del manto Anita, se tiene según las condiciones estructurales y superficiales del comportamiento del macizo rocoso como F/R y MF/R, condicionados por fallas y fracturas cerradas y otras abiertas 0.05m con relleno de arcilla predominante que atraviesa toda la caja techo que tiene un comportamiento con formación de estratos de 0.45 m con litología de margas gris levemente silicificada y cloritizada, estos dominios estructurales paralelos que forman lajas, produce inestabilidad y concentración de esfuerzo en la caja techo de forma tabular.

2.2.6. Método de explotación sublevel stoping (hundimiento por sub niveles) con taladros largos

Es dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo y consiste en arrancar el mineral a partir de subniveles de explotación mediante disparos efectuados en planos verticales, con taladros paralelos y radial, posteriormente quedando vacío el tajeo después de la explotación. La preparación de este método contempla galerías de perforación (GP), galería de base o Undercart y transporte por evacuación del mineral arrancado y chimeneas VCR para generar una cara libre.

La perforación se realiza con taladros largos radial, utilizando taladros que van entre 15 -25 mts. hacia arriba y que abarcan 40 - 60 metros hacia abajo que son taladros DTH, con ello se ha conseguido además alcanzar rendimientos de 40 a 60 metros, perforando con máquinas pesadas o semipesadas lo cual aumenta los niveles de perforación.

El transporte y evacuación del mineral se realiza desde la galería Undercart, es decir una zanja recolectora que recibe el mineral arrancado que cae por gravedad a este lugar. Los Scoop ingresan por los cruceros que tienen una inclinación con

respecto al eje de la Galería de Transporte (G.T.), el mineral es transportado a través de la G.T. a los piques de traspaso y de allí al nivel de carguío y transporte.

El campo de aplicación de este método varía para cuerpos macizos o vetas estrechas. A lo que a costos se refiere, es económico aplicándose muchas variantes para este método lo que se hace muy productivo.

La altura del tajeo de arranque no tiene limitaciones teóricas, deben amoldarse más bien a las condiciones del yacimiento. Conviene en la mayoría de los casos abarcar toda la altura de la mineralización a fin de limitar el número de galerías bases de extracción a una sola en lugar de varias. En cuanto al ancho del tajeo, conviene en general en el caso de vetas potentes o de mantos de fuerte pendiente, abarcar todo el espesor de la mineralización. Si se trata de cuerpos masivos se pueden crear varios tajeos separados por zonas estériles o pilares mineralizados que podrían ser recuperados con posterioridad utilizando el mismo método.

➤ **Carguío del mineral**

El mineral arrancado cae por gravedad y es recolectado por embudos o por la zanja creadas con tal objeto, abarcando toda la base del tajeo. En el caso de tener una zanja, ésta progresa en el mismo sentido y a la velocidad que la explotación continua. Por el contrario, si se trata de embudos, estos deben prepararse con anticipación y sus dimensiones van a depender del ancho del tajeo

➤ **Preparación**

Las labores de preparación comprenden: Los sub niveles con sus respectivas comunicaciones con el nivel base, los embudos o subniveles receptores y el primer corte para crear una cara libre. Este corte se efectúa como si se tratara de explotar una veta estrecha por SLS. En cada sub nivel se corre una galería perpendicular al eje longitudinal y a todo ancho del futuro tajeo. Corresponden por lo tanto a los sub niveles de perforación un SLS estrecho, una chimenea central y estas galerías que sirven a su vez de primer corte para este pequeño SLS. Este trabajo se efectúa simultáneamente con los sub niveles de perforación y con el nivel base.

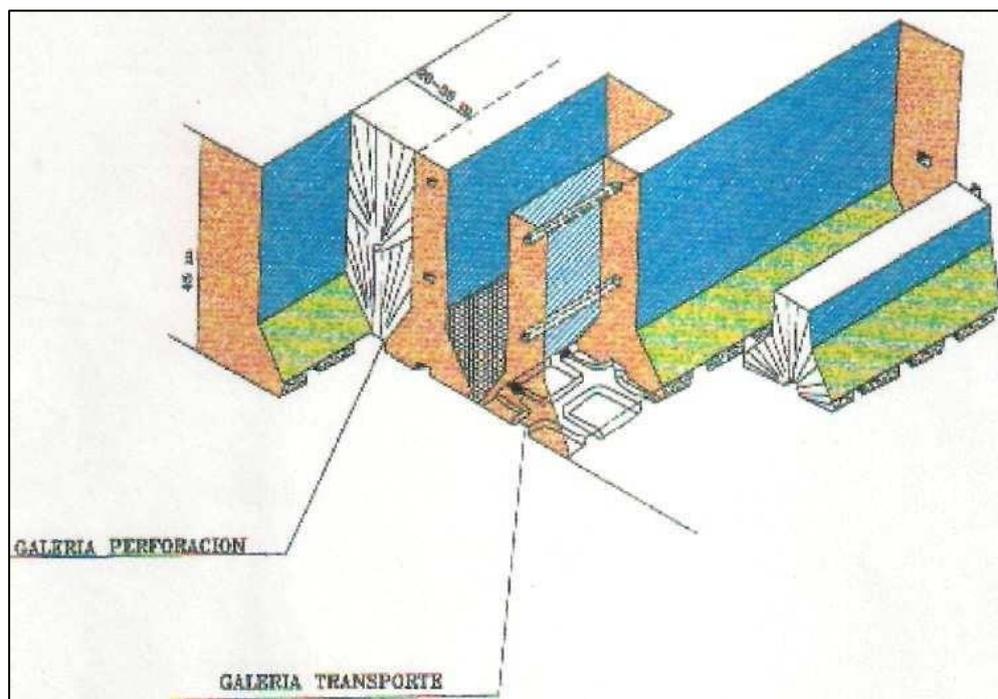


Figura 5: Esquema del método de minado por subniveles (sublevel stoping) con taladros largos (fuente: Volcan compañía minera).

2.2.6.1. Ventajas y desventajas

Ventajas:

- Alta productividad y rendimiento por metro perforado (gran altura de banqueo de hasta 70 m).
- El método de tajeo por subniveles es muy manejable con la mecanización, y por lo tanto los tajeos son de alta eficiencia
- Buen control de leyes y la dilución puede estar debajo del 20%.
- Recuperación de mineral superior al 90%.
- Bajos costos de perforación y voladura

Desventaja:

- Apelmazamiento del material disparado, por su caída de gran altura.
- Presencia de mineral no fragmentado en un 15 % después de la voladura.
- No se puede realizar una explotación selectiva.
- No es flexible, el cambio a otro método.
- Alto nivel de vibración en la voladura

1. Geometría de Yacimiento	Aceptable	Optimo
Forma	Cualquiera	Tabular
Potencia	>5m	>10m
Buzamiento	>45°	>65°
Tamaño	Cualquiera	>10 mt
Regularidad	Media	Baja
2. Aspecto Geotécnico	Aceptable	Optimo
Resistencia (techo)	Incluye poco	>500 k/cm2
Fracturación (techo)	Media	Baja
Campo tensional In-situ (Profundidad)	<2000m	<1000m
Comportamiento tenso-deformacional	Elástico	Elástico
3.- Aspectos Económicos	Aceptable	Optimo
Valor unitario de la mena	Bajo	NA
Productividad y ritmo de explotación	Alto	NA

Tabla 1. Resumen del método por taladros largos

2.2.6.2. Métodos de perforación

Método de taladros paralelos (Lbh).

El método L.B.H. (Long Blast Hole), (S.L.S. realce) es la aplicación de los principios de la voladura en bancos a cielo abierto a la explotación subterránea. Consiste en el arranque del puente entre dos niveles con perforación D.T.H. en sentido descendente.

En este sistema se establece un único nivel base para varios subniveles superiores, ya que la secuencia de explotación es inversa al sistema tradicional (en el L.B.H. se mantiene más adelantado el nivel inferior). La preparación se reduce al desarrollo de frontones horizontales y paralelos en el techo del cuerpo (o en subniveles intermedios). Las labores superiores son separadas por un pilar tipo muro en toda su longitud.

El método L.B.H. (Long Blast Hole), (S.L.S. realce) es la aplicación de los principios de la voladura en bancos a cielo abierto a la explotación subterránea. Consiste en el arranque del puente entre dos niveles con perforación D.T.H. en sentido descendente.

En este sistema se establece un único nivel base para varios subniveles superiores, ya que la secuencia de explotación es inversa al sistema tradicional (en el L.B.H. se mantiene más adelantado el nivel inferior). La preparación se reduce al desarrollo de frontones horizontales y paralelos en el techo del cuerpo (o en subniveles intermedios). Las labores superiores son separadas por un pilar tipo muro en toda su longitud.

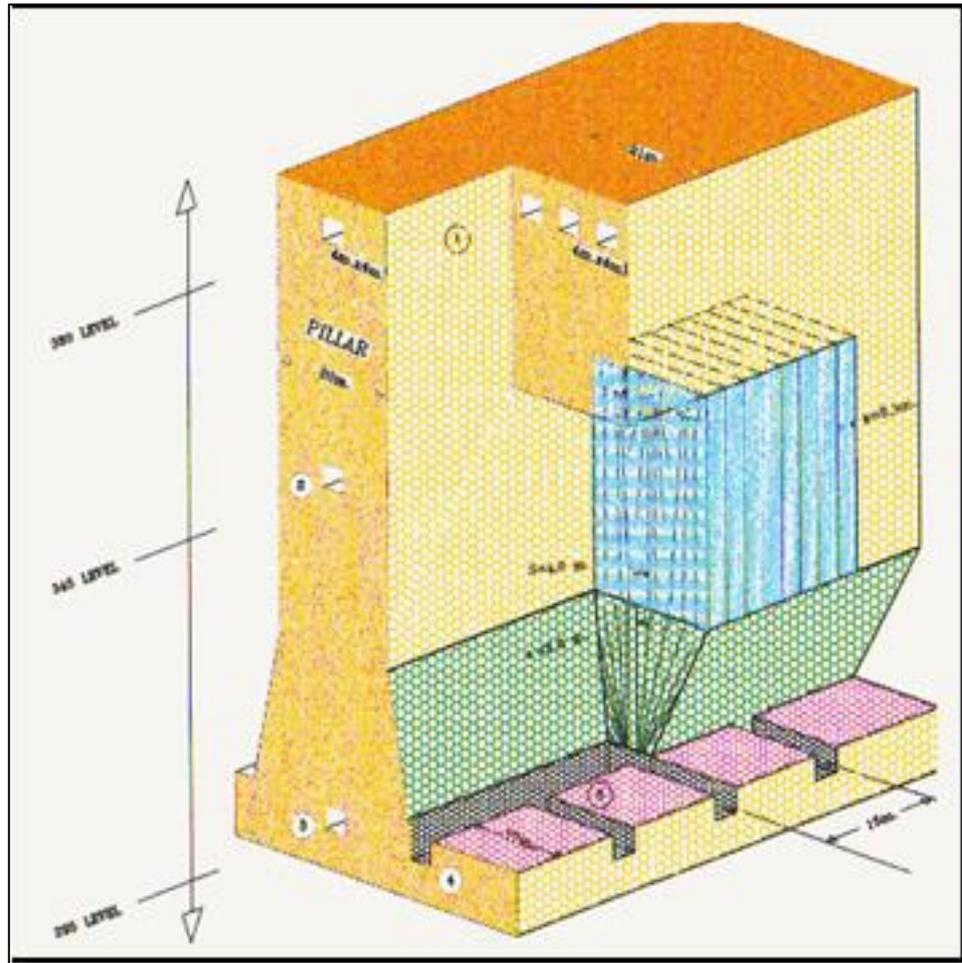


Figura 6: Método de taladros paralelos (LOPEZ JIMENO, Carlos. “Manual de perforación y voladura de rocas”. 1994).

Método de taladros en abanico (Lba)

La aplicación de este método se inicia a partir de la rosa frontal preparada en la parte inferior del tajeo, la perforación se realiza a través de los subniveles con barrenos dispuestos en abanico o anillo, el mineral disparado cae al fondo del tajeo o embudos y se evacúa por las tolvas a los vagones o volquetes de bajo perfil según sea el caso del diseño de la mina y el sistema empleado.

Para los disparos se realizan disparos de dos a tres anillos, pudiendo ser más según la experiencia y el RMR del macizo rocoso. Las distancias entre los niveles de perforación ha ido incrementándose gracias

a las nuevas tecnologías que han permitido ir alargando los barrenos y controlando el modo eficiente el desvío de estos, de este modo se toma en cuenta las separaciones de grandes dimensiones entre los subniveles de explotación; en algunos casos se lograron reducir el número de subniveles a uno, cuando se usa la perforación en abanico o anillo se perfora en todo el perímetro radialmente; siempre y cuando el terreno y la geometría de la veta, manto y/o cuerpo acceda a este método. La ventaja de este método es el bajo costo de preparación y la seguridad que ofrece debido a que las secciones son menores con respecto al lbh.

Condiciones para la aplicación

- Buzamiento mayor a 50°.
- Potencia de estructura mineralizada mayor a 0.5 metros.
- Las rocas encajonantes deben ser regular a competentes con RMR mayor a 30.
- El mineral debe ser competente y con buena estabilidad.
- Los límites de los yacimientos deben ser amplios y regulares.

Características para su aplicación

- Genera una producción de mineral muy alto.
- Se aplican en vetas de dimensiones amplias y competentes.
- Se aplica en cuerpos inclinados, regulares.

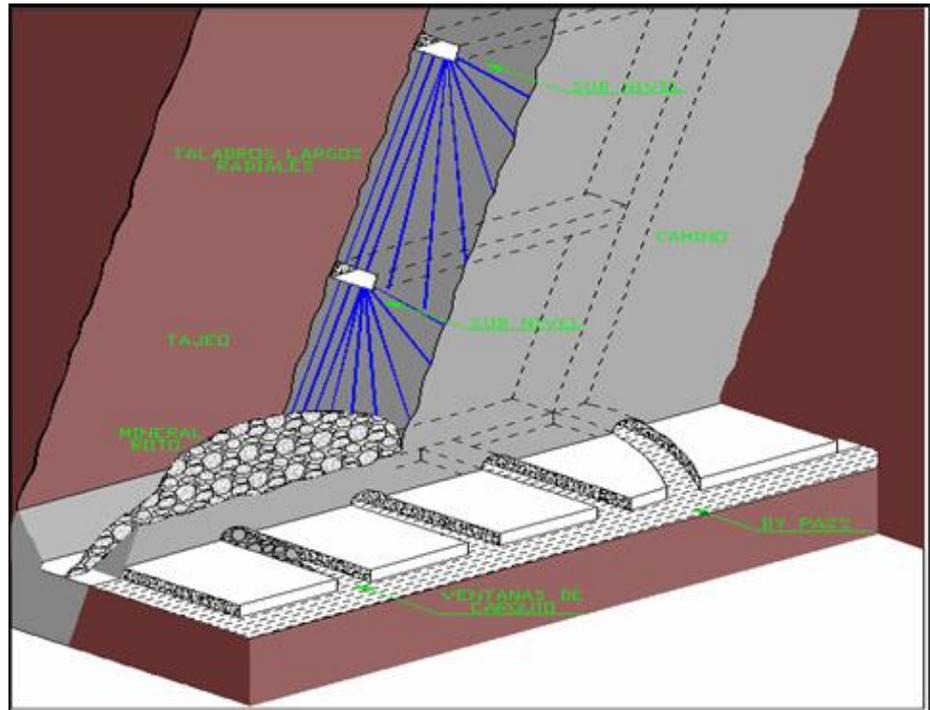
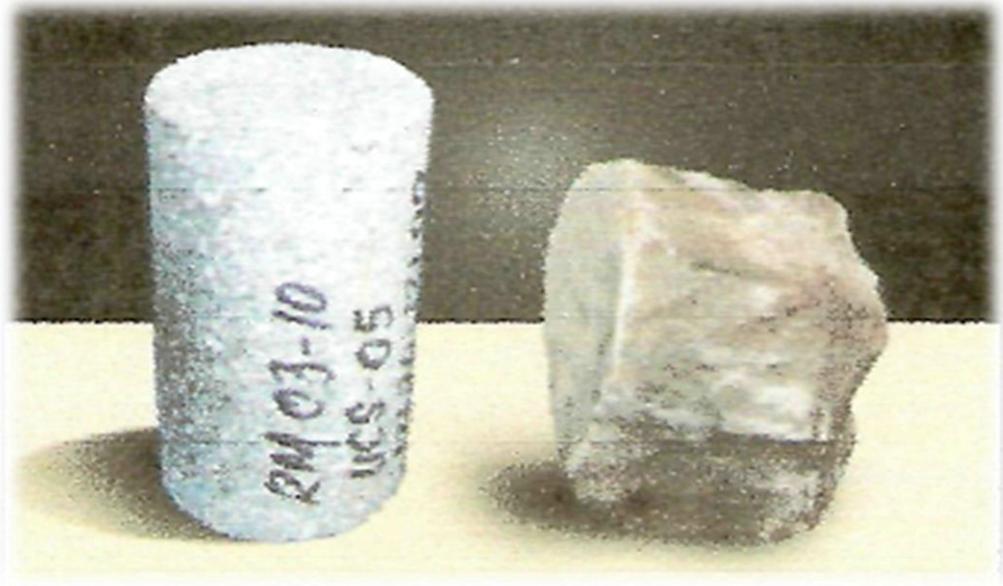


Figura 7: Método de taladros en abanico (LOPEZ JIMENO, Carlos. “Manual de perforación y voladura de rocas”. 1994).

2.2.7. Evaluación de propiedades geológicas ingenieriles de las rocas

La roca difiere de la mayoría de otros materiales utilizados en la ingeniería. Ésta tiene discontinuidades (fracturas) de diferentes tipos, que hacen que su estructura sea discontinua. Además, debido a los procesos geológicos que la han afectado entre el tiempo de su formación y la condición en la cual la encontramos en la actualidad, presenta heterogeneidades y propiedades variables. Por lo tanto, Primero es necesario distinguir lo que es el "material rocoso" o denominado también "roca intacta" y lo que es la "masa rocosa" o también denominada "macizo rocoso".

- **Roca intacta**, es el bloque ubicado entre las discontinuidades y podría ser representada por una muestra de mano o trozo de testigo que se utiliza para ensayos de laboratorio.



Fotografía 8: Roca intacta

- **Masa rocosa**, es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.



Fotografía 9: Masa rocosa.

La geomecánica es la ciencia que intenta describir y predecir las propiedades y el comportamiento del macizo rocoso.

2.2.7.1. Descripción del macizo rocoso

Un macizo rocoso puede estar compuesto por una serie de rocas, con una estructura y textura variable y con una composición mineralógica, petrográfica o litológica diferente. Este medio en general, está afectado por deformaciones tectónicas y en función de su ocurrencia presenta aspectos ondulados, plegados, cortados por discontinuidades; y en muchos con alteración.

2.2.7.2. Discontinuidades del macizo rocoso

Una discontinuidad es un plano de debilidad dentro de la masa rocosa, a través del cual la roca tiene una resistencia a la tensión, o a lo largo del cual hay una baja resistencia al cortante. Algunos de estos planos pueden estar espaciados, como en las fracturas, pero pueden estar muy juntos (no se puede distinguir la fractura hasta que se detecta en la roca someténdola a pruebas). Los planos incluyen juntas, clivajes, esquistosidad, foliación, vetas, planos de estratificación, fallas o fracturas abiertas causadas por la disolución de minerales formadores de roca solubles (por ejemplo, la calcita). Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

➤ Planos de estratificación

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias.



Fotografía 10: Planos de estratificación.

✓ **Fallas**

Son fracturas que han tenido desplazamiento. Éstas son estructuras menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.



Fotografía 11: Fallas.

✓ **Zonas de corte**

Son bandas de materia que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.



Fotografía 12: Zonas de corte.

✓ **Diaclasas**

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa.



Fotografía 13: Diaclasas.

✓ **Planos de foliación o esquistosidad**

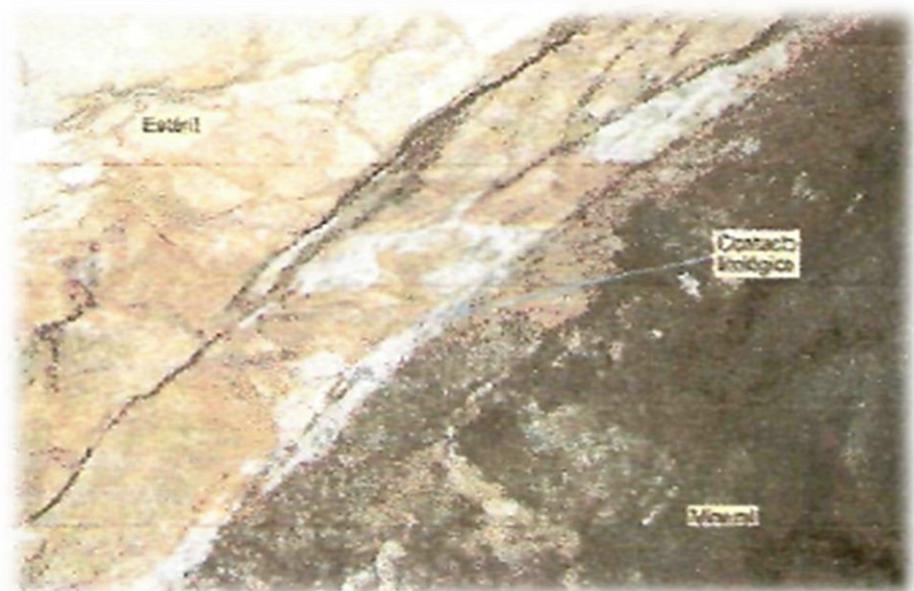
Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.



Fotografía 14: Planos de foliación o esquistosidad.

✓ **Contactos litológicos**

Son los contactos definidos de dos o más rocas diferentes.

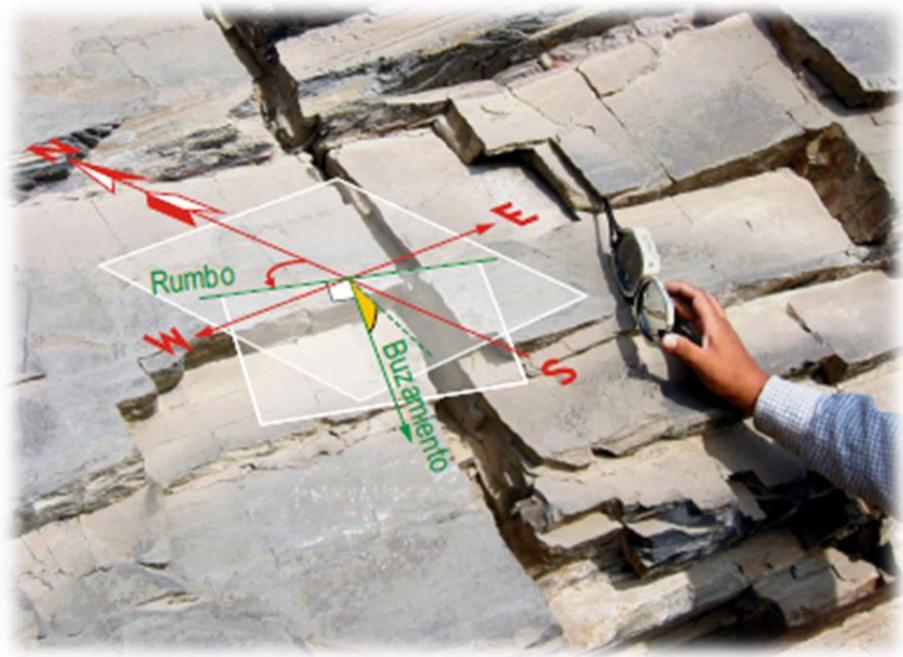


Fotografía 15: Contactos litológicos.

2.2.7.3. Propiedades de las discontinuidades

➤ Orientación

Es el azimut de la línea de buzamiento o máxima pendiente de la discontinuidad. La orientación de una discontinuidad en el espacio viene dada por la pendiente de la línea de máxima, pendiente medida desde el horizontal, buzamiento, y por dirección de la pendiente medida desde el norte verdadero en el sentido de las agujas del reloj, azimut.



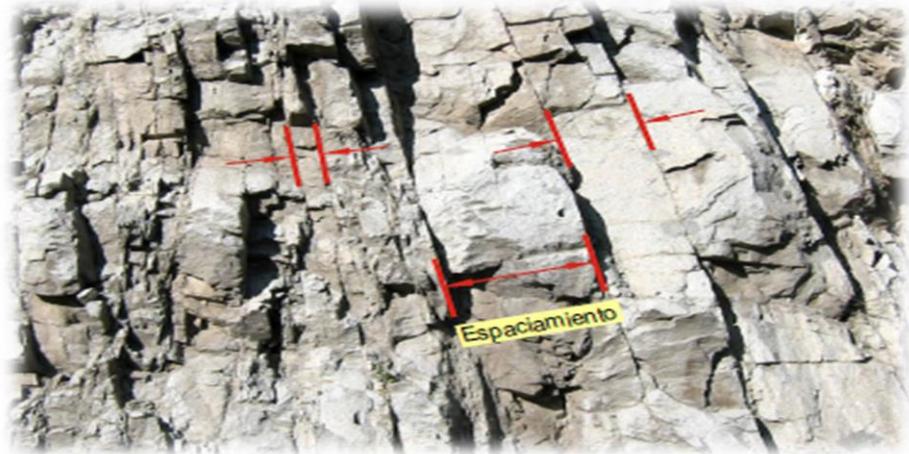
Fotografía 16: Orientación

➤ Espaciamiento

Corresponde a la distancia entre las discontinuidades, medida perpendicularmente al plano estructural. En general, será posible definir un rango de valores para este factor y se suele utilizar el valor promedio como el representativo de la zona de estudio. Además, este parámetro define el tamaño de bloques de matriz rocosa que forman los

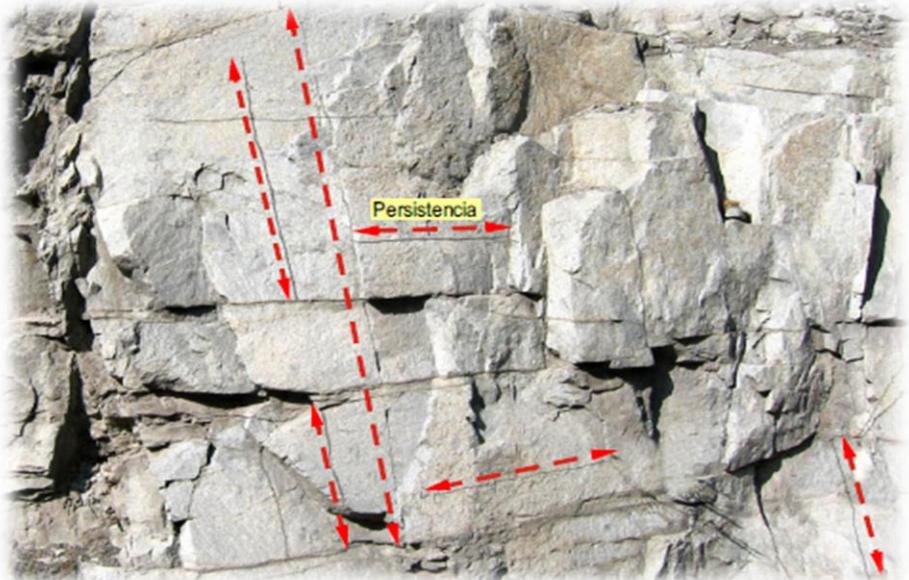
distintos sets. Si los espaciamentos son pequeños, la resistencia del macizo rocoso disminuye.

Fotografía 17: Espaciamiento.



➤ **Persistencia**

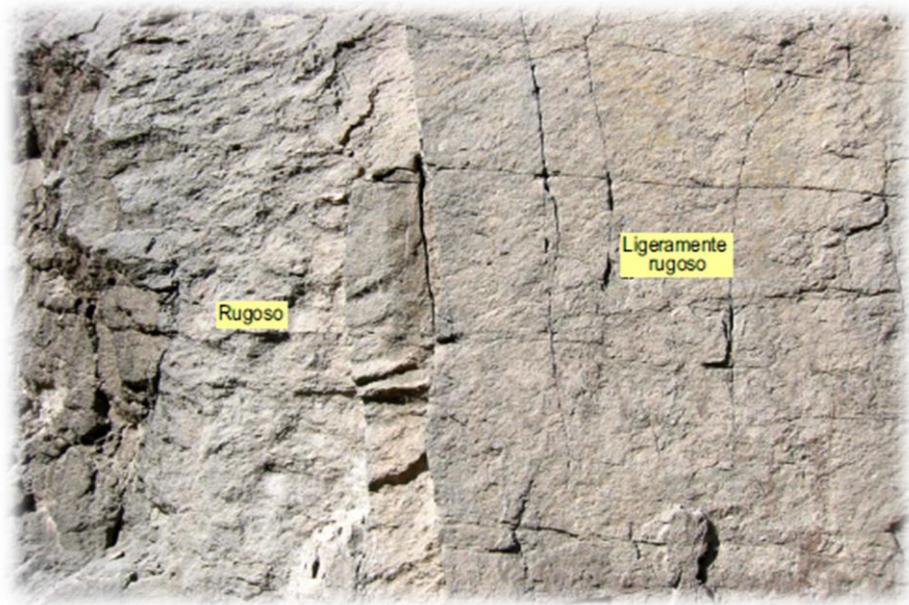
Término usado para indicar la extensión o el tamaño de las Discontinuidades dentro de un plano, es uno de los parámetros más importantes de la Masa Rocosa pero también uno de los más difíciles de determinar, se puede cuantificar la traza en superficies expuestas.



Fotografía 18: Persistencia

➤ **Rugosidad**

Es una medida de la aspereza de la discontinuidad, y da cuenta de la ondulación (gran escala) y de la rugosidad (pequeña escala). Está relacionada directamente con la resistencia al cizalle (corte) de la discontinuidad. La rugosidad aumenta la resistencia a la cizalla de una discontinuidad.



Fotografía 19: Rugosidad.

➤ **Relleno**

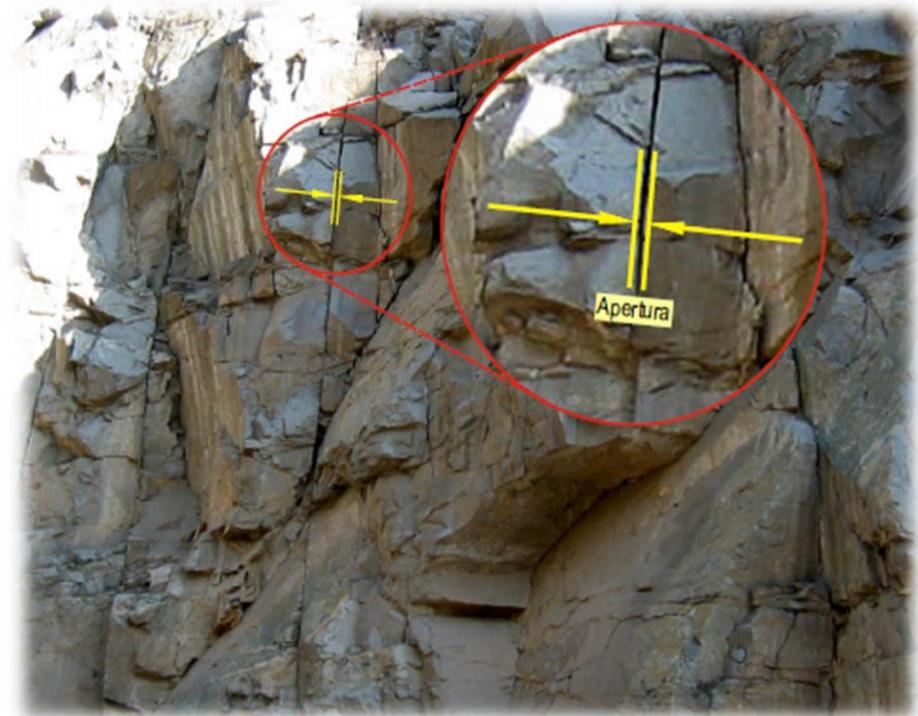
Describe las características del material presente en los planos de discontinuidad, que separa la roca. Es fundamental para comprender la cohesión del macizo rocoso y la resistencia al cizalle. Las propiedades más importantes del relleno son su mineralización, espesor o anchura, resistencia al corte y permeabilidad.



Fotografía 20: Relleno.

➤ **Apertura**

Corresponde a la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.



Fotografía 21: Apertura.

2.2.8. Clasificaciones geomecánicas

A partir de las ideas de Terzaghi, se ha intentado sistematizar, cualificar y cuantificar las características Geomecánicas de los macizos rocosos donde se realizan las excavaciones. La mejor clasificación sería conocer las propiedades mecánicas del macizo, como combinación de las propiedades de las rocas y de las discontinuidades. Por ser esto prácticamente imposible, se han hecho clasificaciones en las que se diferencian los macizos rocosos en diversas categorías de calidad. En décadas anteriores construir en roca era, conceptualmente, construir sobre seguro y la mayoría de los sondeos se limitaban por esto a atravesar el material de cubierta y tocar la roca, sin investigar las características de la misma en profundidad. Con juntamente con esta idea, surgen las apreciaciones cualitativas sobre la aptitud del macizo rocoso principalmente como medio lindante de una excavación subterránea, tienden fundamentalmente a:

1. Ubicar el macizo rocoso en un tipo estructural determinado y establecer zonas Geomecánicas.
2. Establecer una cuantificación Geomecánica que permita dilucidar, ya en la etapa de anteproyecto las dificultades que se encontraran y lo que es aún más importante prever la metodología de tratamiento (sostenimiento, método de excavación etc.) más adecuada en base a la clasificación establecida.

2.2.8.1. Índice de designación de la Calidad de la Roca (RQD) (Jv

Índice de designación de la calidad de la roca propuesto por Deere como una herramienta para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso a partir de testigos de sondaje, y se define como el porcentaje de trozos intactos mayores a 10 cm en el largo total del sondaje. PALMSTRON (1982) sugirió que, cuando no se tiene testigos de

perforación, pero las trazas de las discontinuidades son visibles en afloramientos superficiales o en socavones exploratorios, el RQD puede ser estimado a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen.

La relación sugerida para masas rocosas libres de arcilla es:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

Donde:

J_v = Es la suma del número de discontinuidades por unidad de longitud de todas las familias de discontinuidades, conocido como el conteo volumétrico de discontinuidades

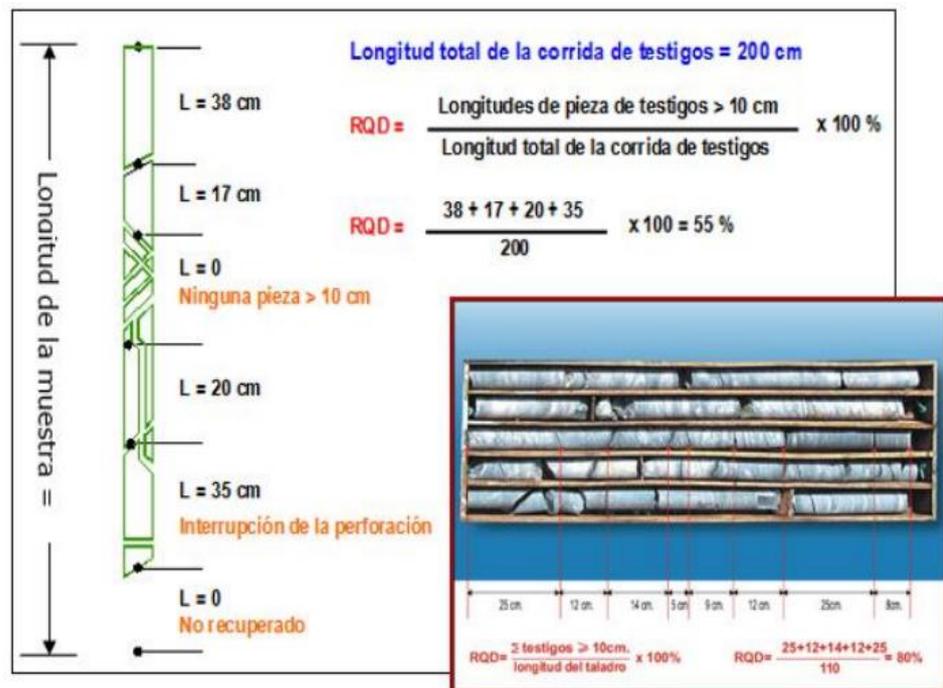


Figura 8: Procedimiento de medición y cálculo del RQD (Deere, 1989).

2.2.8.2. Clasificación de Barton (Q)

Esta clasificación presentada por Barton, Lien y Lunde del NGI (Norwegian Geotechnical Institute), consiste en determinar el índice (Q) de acuerdo a la siguiente relación:

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

Dónde:

RQD = Deere propone además la siguiente relación entre el valor de RQD y la calidad de la roca:

RQD	Calidad de la roca
< 25 %	Muy mala
25 – 50 %	Mala
50 – 75 %	Regular
75 – 90 %	Buena
90 – 100 %	Muy buena

Tabla 2: RQD y calidad de la roca.

➤ **J_n** = Número de familias/sistemas de discontinuidades.

NUMERO DE FAMILIAS	J_n	OBSERVACIONES
A.- Masivo, sin o con pocas juntas	0.5 - 1	1.- Para cruces en túneles utilizar (3 J _n) 2.- Para Portales utilizar (2 J _n)
B.- Una familia de juntas	2	
C.- Una familia y algunas juntas ocasionales	3	
D.- Dos familias de juntas	4	
E.- Dos familias y algunas juntas	6	
F.- Tres familias de juntas	9	
G.- Tres familias y algunas juntas	12	
H.- Cuatro familias o más, roca muy fracturada.	15	
I.- Roca triturada terrosa	20	

Tabla 3: Rating asignado para J_n en el indicador Q.

➤ **J_r** = Rugosidad de las discontinuidades.

El factor RQD/J_n representa la estructura de la masa rocosa y es medida aproximadamente del tamaño de bloques o partículas.

RUGOSIDAD	Jr	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta - Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento lateral 10 cm.		1.- Se añade 1.0 si el espaciamiento medio juntas es mayor de 3 m. 2.- Jr = 0.5 se puede usar Para juntas de fricción Planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
A.- Juntas discontinuas	4	
B.- Junta rugosa o irregular ondulada	3	
C.- Suave ondulada	2	
D.- Espejo de falla, ondulada	1.5	
E.- Rugosa o irregulares plana	1.5	
F.- Suave plana	1	
G.- Espejo de falla o superficie de fricción Plana.	0.5	
- Sin contacto entre las dos caras de la junta desplazados lateralmente.		
H.- Zona que contiene minerales arcillosos de espesor suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras.	1	
I.- Zona arenosa con grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1	

Tabla 4: Rating asignado para Jr en el indicador Q.

➤ **Ja** = Alteración de las discontinuidades.

ALTERACION	Ja	ϕ (Aprox.)	OBSERVACIONES
- Contacto entre las dos caras de la junta.			1.- Los valores de ϕ el ángulo De fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas de los productos de la alteración si es que están presentes.
A.-Junta sellada, dura, sin reblandecimiento, relleno impermeable, ej. Cuarzo.	0.75		
B.-Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25° - 35°	
C.-Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25° - 30°	
D.- Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no blanda.	3	20° - 25°	
E.- Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, ej. Caolinita, mica, clorita, talco, y pequeñas cantidades de arcillas expansivas, los recubrimientos son discontinuos con espesores de 1 ó 2 mm	4	8° - 16°	
- Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento lateral.			
F.- Partículas de arena, roca desintegrada, libre de arcilla.	4	25° - 30°	
G.-Fuertemente sobre consolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	6	16° - 24°	
H.-Sobre consolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	8	8° - 16°	
I.- Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El valor depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12	6° - 12°	
- No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es cizallada.			
J.- Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.	6 - 8 8 - 12	6° - 24°	
K.- Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandecimiento.	5	6° - 24°	
L.- Zonas o capas gruesas de arcilla.	10 - 13 13 - 20	6° - 24°	

Tabla 5: Rating asignado para Ja en el indicador Q.

El factor J_r/J_a representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o del material de relleno

- **J_w** = Factor de reducción por contenido de agua en las discontinuidades. El parámetro J_w es una medida de la presión de agua subterránea, la cual tiene un efecto adverso en la resistencia al corte de las discontinuidades debido a que reducen las tensiones normales efectivas.

PRESENCIA DE AGUA EN LAS DISCONTINUIDADES	J _w	Presión del agua (Kg / cm ²)	OBSERVACIONES
A.- Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 l/min. Localmente.	1	< 1	1.-Los factores de C a E, son estimaciones aproximadas, aumenta J _w si se instalan drenes. 2.-Los problemas especiales causados por la presencia de hielo no se toman en consideración.
B.- Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0.66	1 - 2.5	
C.- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0.33	2.5 - 10	
D.- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con las voladuras disminuyendo con el tiempo.	0.1 - 0.2	> 10	
E.- Fluencia o presión de agua. Excepcionalmente alta y continua sin disminución.	0.05 - 0.1	> 10	

Tabla 6: Rating asignado para J_w en el indicador Q.

- **SRF** = Factor de reducción por esfuerzos o tensiones.
 1. La pérdida de carga en el caso de excavaciones en zonas de fallas y rocas con fracturas rellenas con arcilla.
 2. Tensiones en caso de roca competente.
 3. Carga que produce deformación en las rocas plásticas incompetentes.

FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS		SRF	OBSERVACIONES		
✓ Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.			1. Redúzcanse estos valores SRF de 25%-50% si las zonas de fractura solo se intersectan, pero no cruzan la excavación.		
A.-Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad).		10			
B.-Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menor de 50 m.).		5			
C.-Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50 m.).		2.5			
D.-Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		7.5			
E.-Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m.).		5			
F.- Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m.).		2.5			
G.- Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquier profundidad).		5			
- Roca Competente, problemas de esfuerzos.		σ_c / σ_1	σ_t / σ_1	2.- Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: cuando $5 < \sigma_1/\sigma_3 < 10$, redúzcase: a 0.8 la σ_c y el σ_t . Cuando σ_1 y $\sigma_3 > 10$, redúzcase: a 0.6 la σ_c y el σ_t . donde: σ_c = Resistencia Compresiva. σ_t = Esfuerzo a la tracción σ_1 = Esfuerzo Principal Mayor.	
H.- Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.		> 200	> 13		2.5
I.- Esfuerzo medio.		200-10	13-0.66		1.0
J.- Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (generalmente favorable para la estabilidad. Pude ser des favorable para la estabilidad de los hastiales).		10-5	0.66-0.33		0.5-2
K.- Desprendimiento moderado de la roca masiva.		5-2.5	0.33-0.16		0.5-10
L.- Desprendimiento intenso de la roca Masiva.		< 2.5	< 0.16		10-20
- Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.				3.- Hay pocos casos reportados donde el techo debajo de la superficie sea menor que el ancho del claro. Se sugiere Que el SRF sea aumentado de 2.5 a 5 para estos casos, ver H.	
M.- Presión de flujo moderado.					5-10
N.- Presión de Flujo Intenso.					10-20
- Roca expansiva, actividad química expansiva dependiendo de la presencia de agua.					
O.- Presión de expansión Moderado.					5-10
P.- Presión de expansión Intensa.					10-15

Tabla 7: Rating asignado para SRF en el indicador Q.

Por lo tanto, se hallará la calidad de la roca dependiendo del valor del índice

Q.

Q	CALIDAD
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala
0.01 - 0.1	Extremadamente mala
0.1 - 1	Muy mala
1 - 4	Mala
4 - 10	Regular
10 - 40	Buena
40 - 100	Muy buena
100 - 400	Extremadamente buena
400 - 1000	Excepcionalmente buena

Tabla 8: Calidad del macizo rocoso mediante el cálculo de Q.

2.2.8.3. Clasificación bieniawsky (r_{mr89})

Considera cinco parámetros básicos para definir la clasificación de los cuales se les asigna un puntaje o rating. El RMR₈₉ corresponde a la suma de los respectivos ratings. Los factores son los siguientes:

➤ **Resistencia a la compresión uniaxial (UCS)**

Resistencia de la roca inalterada, emplea la clasificación de la resistencia a la compresión uniaxial de Deere – Miller; como alternativa se podría usar un índice de carga puntual.

➤ **RQD**

El RQD se halla de los taladros de testigos diamantinos como se explica en la imagen 30.

➤ **Espaciamiento de discontinuidades**

Para toda clase de discontinuidades, se utiliza la clasificación de Deere de las rocas “In-situ” para obras de ingeniería.

➤ **Condición de discontinuidades**

Este parámetro toma en cuenta la separación o abertura de las fisuras, su persistencia de la discontinuidad, la rugosidad de la superficie, el estado de relleno de las paredes (duras o blandas) y la presencia de alteración en las fisuras.

Guías para la clasificación según las condiciones de las discontinuidades					
Persistencia Rating	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10 – 20 m 1	> 20 m 0
Separación (abertura) Rating	Cerrada 6	< 0,1 mm 5	0,1 – 1,0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Rugosidad Rating	Muy rugosa 6	Rugosa 5	Ligeramente Rugosa 3	Lisa 1	Superficies pulidas 0
Relleno Rating	Limpia 6	Duro < 5 mm 4	Duro > 5 mm 2	Blando < 5mm 2	Blando > 5 mm 0
Alteración Rating	Inalterada 6	Ligeramente Alterada 5	Moderadamente Alterada 3	Fuertemente Alterada 1	Descompuesta 0

Tabla 9: Rating de los parámetros de las condiciones de discontinuidades.

➤ **Condición de Aguas Subterráneas**

Se hace un intento de medir la influencia del flujo del agua en términos de caudal sobre la estabilidad de excavaciones y de la relación que existe entre la presión del agua en las fisuras y el esfuerzo principal; o con alguna observación cualitativa relacionada con el agua subterránea. Se muestra una tabla resumen de los ratings. RMR es la suma de los ratings asociados a cada uno de los factores anteriores.

Parámetros de Clasificación RMR ₈₉ con sus Valores								
Parámetros		Rango de valores						
Resistencia de la roca Intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (Mpa)	< 10	4-10	2-4	1-2	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.		
	Resistencia a la compresión Uniaxial (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5 – 25	1-5	<1
Ratings		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
Ratings		20	17	13	8	3		
Espaciado de las discontinuidades (m)		> 2	0.60 – 2	0.20 – 0.60	0.06-0.20	< 0.06		
Ratings		20	15	10	8	5		
Condiciones de las Discontinuidades		Superficies muy rugosas con continuidad cerradas, Paredes de roca sin alteración.	Superficies sin rugosas con separación < 1 mm, Paredes de Roca ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas con separación < 1 mm, Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5mm de espesura o separación 1-5 mm continuas.	Relleno blando < 5mm de espesor Separación < 5mm Continuas		
Ratings		30	25	20	10	0		
Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (l/min)	N	< 10	10 -25	25 – 125	>125		
	Presión de agua en la diaclasa/Tensión principal mayor	0	< 0,1	0,1 -0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
	Condiciones General	completamente se	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
Ratings		15	10	7	4	0		

Tabla 10: Clasificación de parámetros del RMR₈₉ y sus respectivos ratings.

Además, Bienawski propone una metodología de corrección al puntaje anterior, que busca tomar en cuenta la influencia de la orientación de las discontinuidades a la hora de realizar una excavación.

Orientación de rumbo y buzamiento de las fisura		Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valores	Túneles	0	-2	-5	-10	-
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-
	Taludes	0	-5	-25	-50	-
						12
						25
						60

Tabla 11: Valoración de corrección por la orientación de discontinuidades.

De acuerdo con la incidencia de estos parámetros se expresa la condición de la excavación con un índice que varía de 0 a 100 denominado RMR, existiendo variaciones y modificaciones posteriores a este índice que se han ido desarrollando por diferentes autores en base a sus experiencias, se define lo siguiente:

CLASE	RMR	CALIDAD DE LA ROCA
I	81 – 100	Muy buena
II	61 – 80	Buena
III	41 - 60	Regular
IV	21 – 40	Mala
V	0 – 20	Muy mala

Tabla 12: Clasificación de calidad de macizo rocoso según RMR₈₉.

Es muy común también, utilizar la siguiente relación logarítmica entre el RMR y el Q de Barton:

$$RMR = 9 \ln Q + 44$$

2.2.8.4. Índice GSI (Geological Strength Índice)

Este índice ha sido introducido como un equivalente del RMR para que sirva como un medio de incluir la información geológica en la aplicación del criterio de falla generalizada de Hoek - Brown, especialmente para rocas de mala a muy mala calidad (muy alterada y con elevado contenido de finos). La resistencia de un macizo rocoso fracturado dependerá de las propiedades de la roca intacta, de la capacidad de deslizar y rotar de los diferentes trozos de roca intacta dentro del macizo. Esto es

controlado por la forma de los trozos y la condición de las superficies de las discontinuidades, entre otros factores. GSI es un sistema que permite estimar la reducción de la resistencia del macizo bajo distintas condiciones geológicas. Para determinar el GSI es necesario realizar observaciones de campo que permiten describir las condiciones in situ con ayuda de la tabla 17. La determinación del G.S.I., es el primer paso por seguir, definiendo en forma empírica la resistencia y deformabilidad del macizo rocoso, basándose en las condiciones estructurales (grado de fracturamiento) y de superficie (alteración, forma de fracturas, relleno).

La clasificación según su estructura varía de:

- Levemente fracturado (LF)
- Fracturada (F)
- Muy fracturada (MF)
- Intensamente fracturada (IF)
- Triturada (T)

La clasificación según sus condiciones superficiales varía de:

- Muy buena (MB)
- Buena (B)
- Regular (R)
- Pobre (P)
- Muy pobre (MP)

ROCK MASS CHARACTERISTICS FOR STRENGTH ESTIMATES		SURFACE CONDITIONS				
Based upon the appearance of the rock, choose the category that you think gives the best description of the 'average' undisturbed in situ conditions. Note that exposed rock faces that have been created by blasting may give a misleading impression of the quality of the underlying rock. Some adjustment for blast damage may be necessary and examination of diamond drill core or of faces created by pre-split or smooth blasting may be helpful in making these adjustments. It is also important to recognize that the Hoek-Brown criterion should only be applied to rock masses where the size of individual blocks is small compared with the size of the excavation under consideration.		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY ▼				
	BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets	B/VG	B/G	B/F	B/P	B/VP
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	VB/VG	VB/G	VB/F	VB/P	VB/VP
	BLOCKY/DISTURBED- folded and/or faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets	BD/VG	BD/G	BD/F	BD/P	BD/VP
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces	D/VG	D/G	D/F	D/P	D/VP
		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ▼				

Tabla 13: Caracterización del macizo rocoso a partir de la presencia de las discontinuidades y de su grado de alteración.

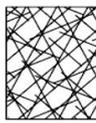
INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p>MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas frescas (sin señales de intemperización ni de alteración)</p> <p>BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con patinas de óxido de hierro</p> <p>REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas</p> <p>MALA Superficies lisas y cizaladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p>MUY MALA Superficies lisas y cizaladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos</p>	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES 	
 <p>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	<p>DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA </p>	80	
 <p>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		70	60
 <p>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>		50	40
 <p>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO POBREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS</p>		30	20
			10

Tabla 14: Cálculo del GSI basado en descripciones geológicas.

La clasificación de la calidad del macizo rocoso el GSI y tomando los criterios ya mencionados son:

Calidad del macizo	Clase	Intervalo GSI
Muy Mala	V	0-20
Mala	IV	20-40
Regular	III	40-60
Buena	II	60-80
Muy Buena	I	80-100

Tabla 15: Clasificación de la calidad del macizo rocoso según el GSI.

Para el caso del RMR de 1989, se tiene la siguiente relación:

$$GSI=RMR_{89} - 5$$

2.2.9. Sostenimiento en minería subterránea

En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo. El sostenimiento en minería subterránea es muy importante, ya que por la naturaleza del trabajo toda labor que se hace en el interior de la mina se realiza en espacios vacíos, inestables producto de la rotura de la roca o mineral extraído; para lograr que se mantenga nuevamente estable la zona y en condiciones de trabajarla, la zona debe de redistribuir sus fuerzas, para ello es necesario apoyar inmediatamente con el refuerzo o el sostenimiento adecuado, considerando el tipo de rocas, fallas con relleno, fallas abiertas, etc. Se puede clasificar a los diversos sistemas en dos grandes grupos:

- a) **LOS DE APOYO ACTIVO;** que viene a ser el refuerzo de la roca donde los elementos de sostenimiento son una parte integral de la masa rocosa.
 - Barra helicoidal.
 - Pernos con anclaje mecánico.
 - Pernos con resina.
 - Swellex.
 - Split set

- b) **LOS DE APOYO PASIVO;** donde los elementos de sostenimiento son externos a la roca y dependen del movimiento interno de la roca que está en contacto con el perímetro excavado.
 - Mallas.
 - Cimbras.
 - Cintas metálicas

➤ Shotcrete.

2.2.9.1. Sostenimiento de apoyo activo (pernos de roca)

Actualmente varias Compañías y/o Empresas Mineras nacionales vienen utilizando pernos de roca, como elemento de refuerzo, en el sostenimiento de labores mineras subterráneas y superficiales; en diferentes tipos de Calidad del Macizo rocoso y condiciones naturales del yacimiento, para lo cual es necesario el conocimiento del comportamiento del perno de roca (Capacidad de anclaje) para obtener mejores resultados, y evitar caídas y/o desprendimientos de rocas, que hoy en día es uno de los mayores índices de accidentes fatales. Es necesario para un mejor entendimiento del comportamiento de los pernos de roca (Rock Bolt) en general, a fin de mejorar la calidad del elemento de refuerzo, como del sistema de sostenimiento, en labores mineras subterráneas y superficiales; para racionalizar su uso y aplicaciones; realizar investigaciones integrales sobre este evento, la misma que considera diferentes tipos y condiciones del macizo rocoso, el comportamiento de la excavación y el tiempo de estabilización del mismo, contando para ello con los instrumentos y equipos necesarios.

En roca estratificada sub-horizontal y roca no estratificada con un sistema dominante de discontinuidades sub horizontales, los pernos ayudan a resistir el desplazamiento relativo entre los estratos, aumentando la rigidez de la viga estructural que forman y creando ligazón entre los bloques tabulares, para minimizar la deflexión del techo. Esto es lo que se llama también el “efecto viga”. Este concepto puede ser extendido al caso de paredes paralelas a estratos o discontinuidades sub verticales, generando el

denominado “efecto columna”, para minimizar el pandeo de los bloques tabulares.

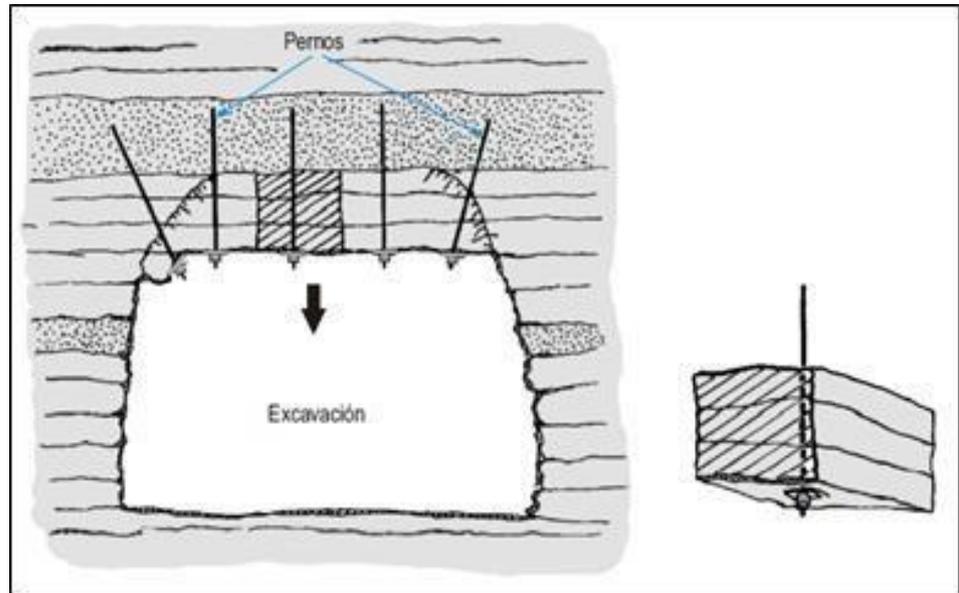


Figura 9: Colocación de pernos en roca estratificada. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

En roca fracturada e intensamente fracturada y/o débil, los pernos confieren nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación. Instalados en forma radial, cada perno crea un bulbo de resistencia, el cual al interactuar con los bulbos de los pernos adyacentes forman un arco rocoso portante que trabaja a compresión denominado “efecto arco”, el mismo que da estabilidad a la excavación.

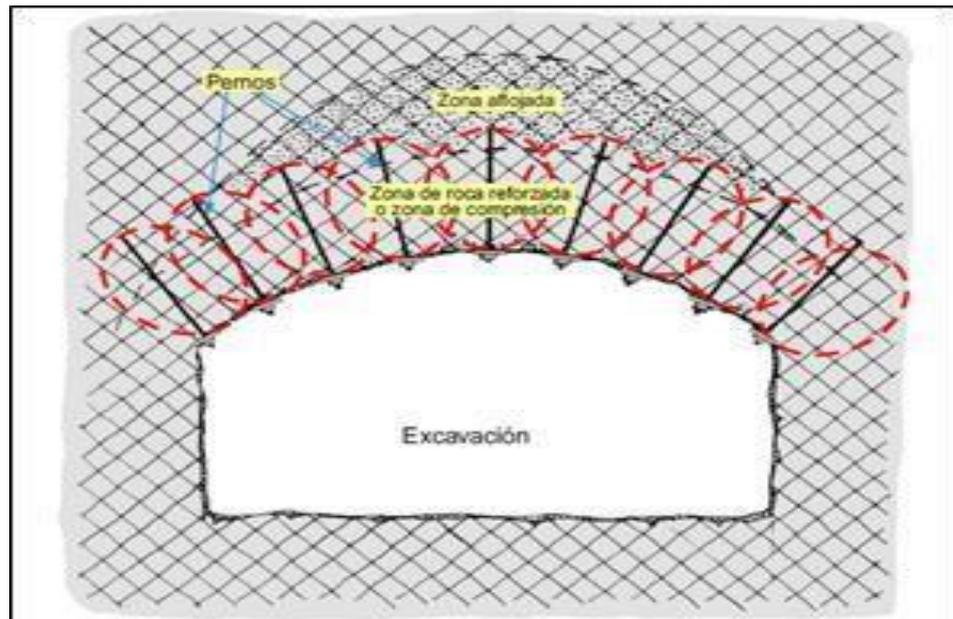


Figura 10: Efecto arco. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores

subterráneas.

Hay otros principios bajo los cuales funcionan los pernos de roca para tratamientos específicos, como coser zonas de falla, zonas de corte y otras zonas de debilidad, instalados cruzando estas zonas.

a) Tipos de pernos

Pernos de anclaje mecánico

Un perno de anclaje mecánico consiste en una varilla de acero usualmente de 16 mm de diámetro, dotado en su extremo de un anclaje mecánico de expansión que va al fondo del taladro. Su extremo opuesto puede ser de cabeza forjada o con rosca, en donde va una placa de base que es plana o cóncava y una tuerca, para presionar la roca. Siempre y cuando la varilla no tenga cabeza forjada, se pueden usar varios tipos de placas de acuerdo con las necesidades de instalación requeridas. Su acción de reforzamiento de la roca es inmediata después de su instalación. Mediante rotación, se aplica un torque de 135 a 340 MN (100 a 250 lb/pie) a la cabeza del perno, el cual acumula tensión en el

perno, creando la interacción en la roca. Su uso es limitado a rocas moderadamente duras a duras, masivas, con bloques o estratificado, sin presencia de agua. En rocas muy duras, fracturadas y débiles no son recomendables, debido a que el anclaje podría deslizarse bajo la acción de las cargas. En rocas sometidas a altos esfuerzos tampoco es recomendable.

El diámetro del taladro es crítico para el anclaje, recomendándose un diámetro de 35 a 38 mm para los pernos comúnmente utilizados. Pierden su capacidad de anclaje como resultado de las vibraciones de la voladura o el astillamiento de la roca detrás de la placa, debido a altas fuerzas de contacto, por lo que no es recomendable utilizarlos en terrenos cercanos a áreas de voladura. Solo pueden ser usados para reforzamiento temporal. Si son utilizados para reforzamiento permanente, éstos deben ser protegidos de la corrosión si hay presencia de agua y deben ser post-cementados con pasta de cemento entre la varilla y la pared del taladro. Proporcionan una tensión limitada que raramente sobrepasan las 12 TM.



Figura 11: Tipos de pernos metálicos de anclaje mecánico. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

Pernos de anclaje mecánico

El Split set, consiste de un tubo ranurado a lo largo de su longitud, uno de los extremos es ahusado y el otro lleva un anillo soldado para mantener la platina. Al ser introducido el perno a presión dentro de un taladro de menor diámetro, se genera una presión radial a lo largo de toda su longitud contra las paredes del taladro, cerrando parcialmente la ranura durante este proceso. La fricción en el contacto con la superficie del taladro y la superficie externa del tubo ranurado constituye el anclaje, el cual se opondrá al movimiento o separación de la roca circundante al perno, logrando así indirectamente una tensión de carga.

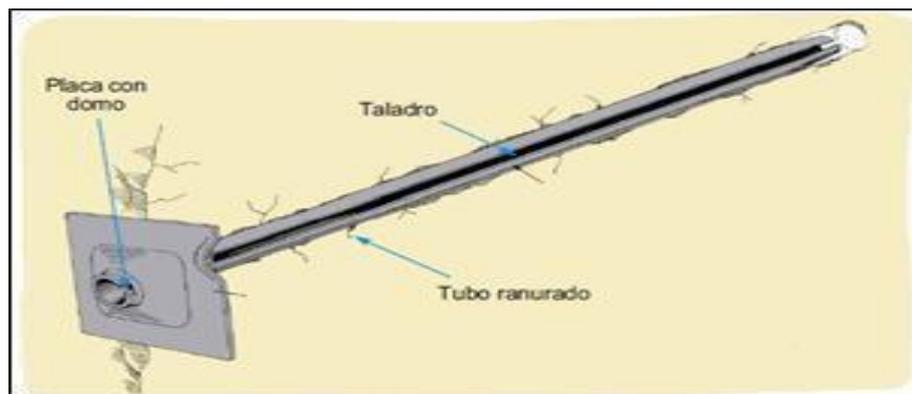


Figura 12: Pernos Split set. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

El diámetro de los tubos ranurados usado por las empresas son de 39 mm de \varnothing por 7' de longitud, correctamente bien instalados alcanzan valores de 1 TM por pie, sosteniendo en toda la longitud hasta 7 toneladas.

Consideraciones importantes para su utilización

Los Split sets son utilizados mayormente para reforzamiento temporal, usualmente conformando sistemas combinados de refuerzo en terrenos de calidad regular a mala. En roca intensamente fracturada y débil no

es recomendable su uso. Su instalación es simple, solo se requiere una máquina jackleg o un jumbo. Proporciona acción de refuerzo inmediato después de su instalación y permite una fácil instalación de la malla. El diámetro del taladro es crucial para su eficacia, el diámetro recomendado para los Split sets de 39 mm es de 35 a 38 mm, con diámetros más grandes se corre el riesgo de un anclaje deficiente y con diámetros más pequeños es muy difícil introducirlos. Son susceptibles a la corrosión en presencia de agua, a menos que sean galvanizados. En mayores longitudes de Split sets, puede ser dificultosa la correcta instalación.

Pernos de varilla cementados o con resina

Consiste en una varilla de fierro o acero, con un extremo biselado, que es confinado dentro del taladro por medio de cemento (en cartuchos o inyectados), resina (en cartuchos) o resina y cemento. El anclaje entre la varilla y la roca es proporcionado a lo largo de la longitud completa del elemento de refuerzo, por tres mecanismos: adhesión química, fricción y fijación, siendo los dos últimos mecanismos los de mayor importancia, puesto que la eficacia de estos pernos está en función de la adherencia entre el fierro y la roca proporcionada por el cementante, que a su vez cumple una función de protección contra la corrosión, aumentando la vida útil del perno. De acuerdo a esta función, en presencia de agua, particularmente en agua ácida, el agente cementante recomendado será la resina, en condiciones de ausencia de agua será el cemento. Dentro de este tipo de pernos, los de mayor utilización en el país son: la varilla de fierro corrugado, generalmente de 20 mm de

diámetro y la barra helicoidal de 22mm de diámetro, con longitudes variables (de 5' a 12'). La barra helicoidal, tiene la forma de una rosca continua a lo largo de toda su longitud, esta característica le da múltiples ventajas comparada a la anterior. Entre otros, su mayor diámetro le confiere mayor resistencia y su rosca constante permite el reajuste de la placa contra la pared rocosa. La capacidad de anclaje de las varillas de fierro corrugado es del orden de 12 TM, mientras que el de las barras helicoidales superan las 18 TM.

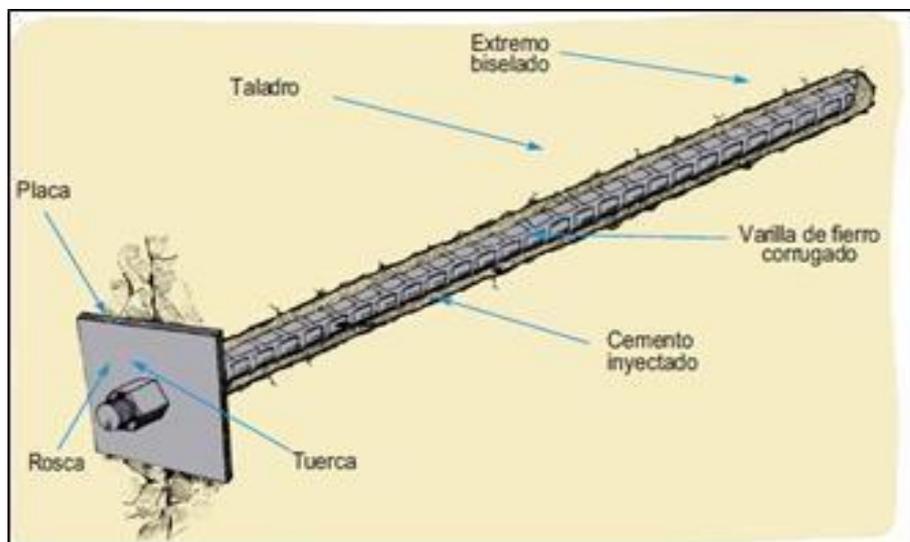


Figura 13: Perno de varilla cementado. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

Consideraciones importantes para su utilización

Los pernos de varilla cementada o con resina son generalmente usados como refuerzo permanente, pero también pueden ser utilizados como refuerzo temporal en varias condiciones de roca, desde rocas de buena a mala calidad, constituye el mejor sistema para rocas de muy mala calidad y también para rocas en ambientes de altos esfuerzos. En presencia de discontinuidades abiertas y/o vacías, no es recomendable su uso a menos que la inyección de la pasta de cemento pueda ser

chequeada. Cuando se usa cemento (en cartuchos o inyectado), se requiere varios días de curado antes que el perno trabaje a carga completa, pero apropiadamente instalados son competentes y durables, con alta resistencia en condiciones de roca dura. Estos pernos tienen larga vida útil y constituyen el sistema más versátil de pernos de roca.

Pernos Swellex

También es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido. El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 28 mm de diámetro. Éste es insertado en un taladro de 32 a 39 mm de diámetro. No se requiere ninguna fuerza de empuje durante su inserción. La varilla es activada por inyección de agua a alta presión (aproximadamente 30 MPa ó 300 bar) al interior del tubo plegado, el cual infla al mismo y lo pone en contacto con las paredes del taladro, adaptándose a las irregularidades de la superficie del taladro, así se consigue el anclaje. Una vez expandido el tubo, se genera una tensión de contacto entre el tubo y la pared del taladro, produciendo dos tipos de fuerzas: una presión o fuerza radial perpendicular a su eje y una

fuerza de rozamiento estático, en toda su longitud, cuya magnitud depende de la estructura de la roca y de la dimensión del taladro.

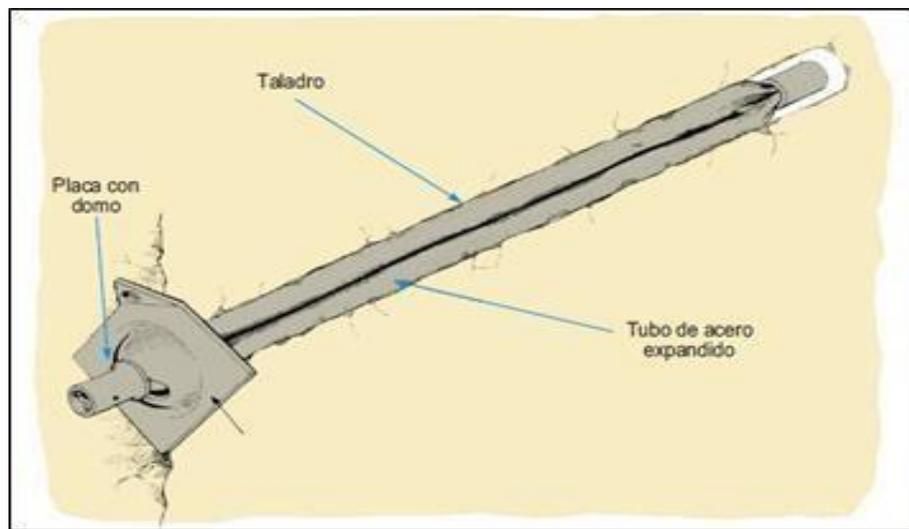


Figura 14: Perno Swellex. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

Consideraciones importantes para su utilización

Constituyen un sistema alternativo a los Split sets, pero de mejor rendimiento en terreno de menor calidad, para el refuerzo temporal. Debido a la existencia de distintos tipos de Swellex, cubren un amplio rango de aplicación desde rocas duras a suaves y en terrenos muy fracturados. Tienen buena respuesta a los efectos cortantes de la roca. En roca dura, 0.5 m de longitud del perno, proporciona una resistencia a la tracción igual a su carga de rotura. Dada su gran flexibilidad, éstos pueden instalarse en longitudes de hasta 3 veces la altura de la labor. Es de instalación sencilla y rápida, el efecto de refuerzo es inmediato, y está provisto de arandelas para colocar la malla en cualquier momento. El principal problema es la corrosión, aunque las nuevas versiones vienen cubiertas con una capa elástica protectora o son de acero inoxidable.

2.2.9.2. Sostenimiento de apoyo pasivo

Concreto lanzado (Shotcrete).

Concreto lanzado (shotcrete) es el nombre genérico del concreto cuyos materiales componentes son: cemento, agregados, agua, aditivos y elementos de refuerzo, los cuales son aplicados neumáticamente y compactados dinámicamente a alta velocidad sobre una superficie. La tecnología del shotcrete comprende los procesos de mezcla seca y de mezcla húmeda. En el proceso de mezcla seca, los componentes del shotcrete seco o ligeramente pre-humedecidos, son alimentados a una tolva con agitación continua, el aire comprimido es introducido a través de un tambor giratorio o caja de alimentación para transportar los materiales en un flujo continuo hacia la manguera de suministro, el agua es adicionada a la mezcla en la boquilla. En el proceso de mezcla húmeda, los componentes del shotcrete y el agua son mezclados antes de la entrega a una unidad de bombeo de desplazamiento positivo, la cual luego suministra la mezcla hidráulicamente hacia la boquilla, donde es añadido el aire para proyectar el material sobre la superficie rocosa.

El producto final de los procesos de shotcrete ya sea seco o húmedo es similar. El sistema de mezcla seca tiende a ser más utilizado en la minería subterránea, debido a que generalmente usa equipos pequeños y compactos, los mismos que pueden ser movilizadas en forma relativamente fácil en la mina. El sistema de mezcla húmeda es ideal para aplicaciones de alta producción, como en piques profundos o labores de avance de gran longitud y donde los accesos permiten operar al equipo de aplicación de shotcrete sobre una base más o menos continua. Las decisiones para usar

procesos de shotcrete seco o húmedo, son usualmente adoptadas para cada sitio en particular. Adecuadamente aplicado, el shotcrete es un material de construcción estructuralmente sólido y durable, con buenas características de adhesión con la roca y alta resistencia.

La práctica y experiencia indica que las proporciones más adecuadas son:

- Cemento	20%
- Para mezcla seca	320 - 460 Kg/m ³ (menos para shotcrete grueso y más para el fino)
- Agregados gruesos	15% al 20%
- Agregados finos	60% al 65%
- Relación agua cemento (mezcla seca):	0.30 - 0.50
- Relación agua cemento (mezcla húmeda):	0.40 - 0.55

Figura 15: Proporciones adecuadas para la preparación del shotcrete. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

Principios de acción del shotcrete en el sostenimiento de excavaciones rocosas

La acción conjunta del shotcrete y la roca, impide que éstos se deformen independientemente. La interacción induce la formación de un esfuerzo radial de confinamiento que controla las deformaciones y que, aplicado sobre la periferia de la excavación, ayuda a la formación de un arco de sustentación. El shotcrete mantiene el entrabe de las posibles cuñas o bloques rocosos, sellando las discontinuidades o grietas producidas por la voladura. Evita la alteración de minerales inestables presentes en el macizo rocoso excavado, por efecto del intemperismo.

Aplicación del shotcrete

La calidad del shotcrete final depende de los procedimientos usados en su aplicación. Estos procedimientos incluyen: la preparación de la superficie, técnicas del lanzado (manipulación de la boquilla o tobera), iluminación, ventilación, comunicación y el entrenamiento de la cuadrilla. El shotcrete no debe ser aplicado directamente a la superficie rocosa seca, con polvo o congelada. El área de trabajo debe ser rociada con un chorro de aire-agua para remover la roca suelta y el polvo de la superficie donde se aplicará el shotcrete. La roca húmeda creará una buena superficie, sobre la cual se colocará la capa inicial de shotcrete. En caso de aplicar varias capas de shotcrete, antes de aplicar la siguiente capa es necesario limpiar la anterior para una buena adherencia.

Mallas metálicas

La malla metálica principalmente es utilizada para los siguientes tres fines:

1. Para prevenir la caída de rocas ubicadas entre los pernos de roca, actuando en este caso como sostenimiento de la superficie de la roca.
2. Para retener los trozos de roca caída desde la superficie ubicada entre los pernos, actuando en este caso como un elemento de seguridad.
3. Como refuerzo de shotcrete. Existen dos tipos de mallas: la malla eslabonada y la malla electrosoldada.

Malla eslabonada

Denominada malla tejida, consiste de un tejido de alambres, generalmente de # 12/10, con cocadas de 2"x2" o 4"x4", construida en material de acero negro que puede ser galvanizada para protegerla de la

corrosión. Por la forma del tejido es bastante flexible y resistente. Esta malla no se presta para servir de refuerzo al concreto lanzado, por la dificultad que hay en hacer pasar el concreto por las malla, no recomendándose para el uso. En lugares donde la corrosión al acero por la presencia de sulfatos es muy baja, es recomendable usar mallas electro soldadas porque tienden a adherirse muy bien en la superficie del terreno; y las mallas tejidas tienden a colgarse en ciertos casos; pero las mallas tejidas son más resistentes a la corrosión y sulfatos por eso se usan este tipo de mallas.

Consideraciones importantes para su utilización

Esta malla es sostenida por pernos cementados si es permanente o temporal o si es con pernos de fricción split set en tajeos o labores no permanentes. Para la calidad de roca en el rango de $30 < RMR$

Malla electrosoldada

Consiste en una cuadrícula de alambres soldados en sus intersecciones, generalmente de # 10/08, con cocadas de 4"x4", construidas en material de acero negro que pueden ser galvanizada. Esta malla es recomendada para su uso como refuerzo del concreto lanzado (shotcrete). La malla viene en rollos o en planchas. Los rollos tienen 25 m de longitud x 2.0 m de ancho y las planchas usualmente tienen 3.0 m de longitud x 2.0 m de ancho.

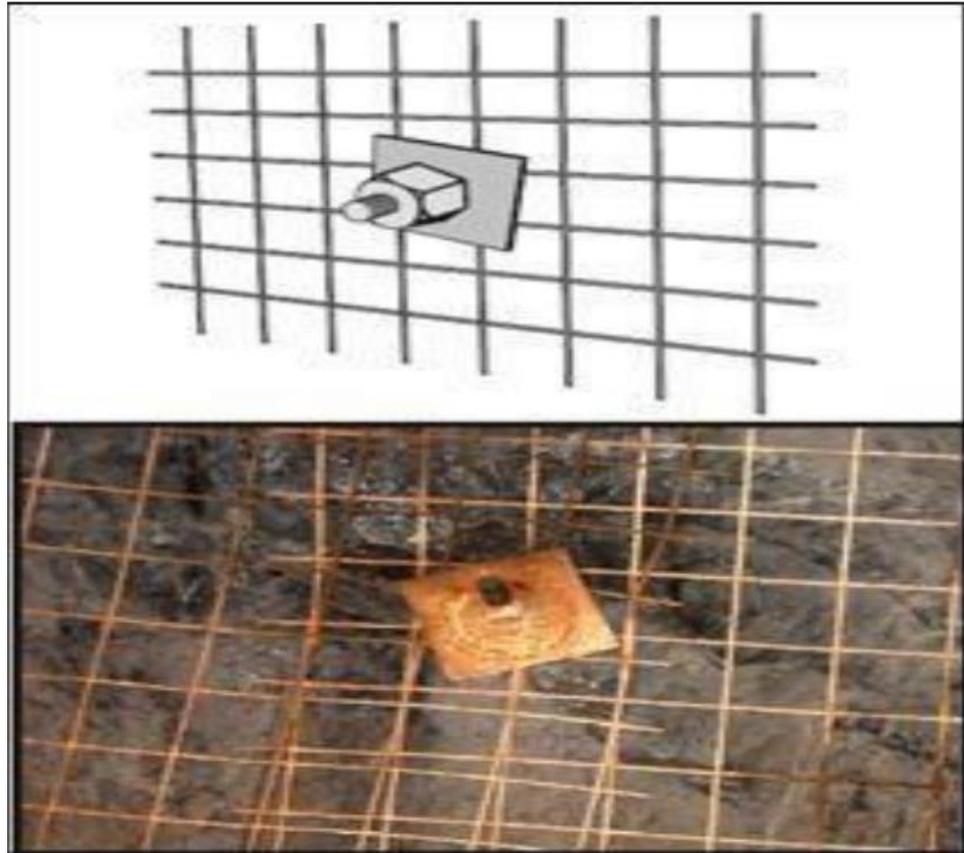


Figura 16: Malla electrosoldada. Pflucker (2019). Sostenimiento de labores subterráneas.

Arcos de acero (Cimbras)

Este típico sostenimiento pasivo o soporte es utilizado generalmente para el sostenimiento permanente de labores de avance, en condiciones de masa rocosa intensamente fracturada y/o muy débil, que le confieren calidad mala a muy mala, sometida a condiciones de altos esfuerzos. Para lograr un control efectivo de la estabilidad en tales condiciones de terreno, las cimbras son utilizadas debido a su excelente resistencia mecánica y sus propiedades de deformación, lo cual contrarresta el cierre de la excavación y evita su ruptura prematura. La ventaja es que este sistema continúa proporcionando soporte después que hayan ocurrido deformaciones importantes. Las cimbras son construidas con perfiles de

acero, según los requerimientos de la forma de la sección de la excavación, es decir, en forma de baúl, herradura o incluso circulares, siendo recomendable que éstos sean de alma llena. Hay dos tipos de cimbras, las denominadas “rígidas” y las “deslizantes o fluyentes”. Las primeras usan comúnmente perfiles como la W, H, e I, conformadas por dos o tres segmentos que son unidos por platinas y pernos con tuerca. Las segundas usan perfiles como las V y U, conformadas usualmente por dos o tres segmentos que se deslizan entre sí, sujetos y ajustados con uniones de tornillo.

2.2.10. Correlaciones entre las clasificaciones geomecánicas y el tipo de sostenimiento

En base a las condiciones del macizo rocoso en el área excavada definido por los diferentes tipos de clasificación geomecánica, se determina el tipo de soporte a colocar que consta básicamente de:

2.2.10.1. Guía de excavación y sostenimiento de acuerdo al % de RQD

Autor	No necesita sostenimiento o pernos localizado	Diseño de pernos	Marcos de acero
Deere 1970	RQD 50 A 75.	RQD 50 A 75. Espaciado de 1.5 a 1.8 m	RQD 50 a 70: marcos ligeros, espaciado de 1.5 a 1.8 m alternativa de pernos.
		RQD 25 A 50. Espaciado de 0.90 a 1.5 m	RQD 25 a 50, marcos ligeros, espaciado de 0.90 a 1.5 m alternativa de pernos RQD 0 a 25, marcos ligeros, espaciado de 0.60 a 0.90 m alternativa de pernos
Cecil 1970	RQD 82 A 100.	RQD 52 A 82. Alternativamente hormigón lanzado de 40 a 60 mm de espesor.	RQD 0 a 25, marcos reforzados con hormigón lanzado.
Merritt 1972	RQD 72 A 100.	RQD 52 A 82. Espaciados de 1.20 a 1.80 m.	RQD 0 A 23

Tabla 16: Tipo de sostenimiento de acuerdo al porcentaje de RQD

2.2.10.2. Guía de excavación y sostenimiento de acuerdo al RMR89

Clase de Macizo Rocoso	Excavación	Sostenimiento		
		Pernos (Ø 20 mm. Adhesión total)	Shotcrete lanzado	Marcos de acero
Roca muy buena (I) RMR 81-100	Avance de 3 m a sección completa	Generalmente no se necesita sostenimiento, excepto algunas anclas para refuerzo local.		
Roca buena (II) RMR 61- 80	Avance de 1 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 banqueo progresiones de 1.5 a 3 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 banqueo progresiones de 1 a 1.5 m en la media sección hay que instalar los refuerzos conforme al 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 ligeras 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 escaba. Shocrethe lanzado con la mayor brevedad después de las voladuras.	Empernado sistemático de 5 a 6 m de largo, espaciado 1 – 1.5 m en la clave y a redes con malla. Instalación de pernos en el piso o contra bóveda.	150 a 200 mm en el techo, 100 mm en las paredes y 50 mm en el frente.	Marcos medianos a pesados Espaciadas a 0.75 m con tablestacado.

Tabla 17: Tipo de sostenimiento en concordancia con el RMR.

2.3. Definición de términos básicos

- **Geomecánica:** Es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales geológicos que conforman las rocas de formación. Esta disciplina está basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la formación bajo los cambios de esfuerzo producto de las operaciones petroleras de perforación, completación y producción de pozos.
- **Roca:** Es un sólido cohesionado que está formado por uno o más minerales. Los minerales más abundantes en una roca se conocen como minerales esenciales, mientras que los que aparecen en proporciones pequeñas se denominan minerales accesorios.
- **Rocas Sedimentarias:** Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados.
- **Rocas Intrusivas:** son aquellas que se forman cuando el magma (roca fundida) se enfría y se solidifica. Si el enfriamiento se produce lentamente bajo la superficie, se forman rocas con cristales grandes denominadas rocas plutónicas o intrusivas, mientras que si el enfriamiento se produce rápidamente sobre la superficie, por ejemplo, tras una erupción volcánica, se forman rocas con cristales indistinguibles a simple vista conocidas como rocas volcánicas, efusivas o extrusivas.
- **Rocas Metamórficas:** Son rocas formadas por la modificación de otras preexistentes en el interior de la Tierra mediante un proceso llamado metamorfismo. A través de calor, presión y/o fluidos químicamente activos, se

produce la transformación de rocas que sufren ajustes estructurales y mineralógicos.

- **Textura de las rocas:** Modo de construcción de la roca, describe las relaciones entre los componentes, que construyen la roca.
- **Dureza de la roca:** No debe confundirse con la escala de dureza de Mohs (1 a 10) que se emplea en la descripción de minerales. En algunas rocas con dureza superficial elevada (por ejemplo, la obsidiana o vidrio natural) no se pueden hacer ranuras, hacer, pero pueden ser muy frágiles y astillarse cuando se les golpea con un martillo de geólogo debido a que su resistencia al impacto es débil.
- **Densidad:** La densidad del material rocoso se define como la masa por unidad de volumen, g/cm^3 o kg/m^3 . Depende de la densidad relativa, también llama peso específico relativo, de los diferentes constituyentes minerales de la roca del suelo. El material no consolidado como arena, limo, arcilla, etc., consiste principalmente de cuarzo (P.E. es 2.65), arcilla (aproximadamente 2.70), mica (2.80 a 3.20) y óxidos o hidróxidos de hierro (3.60 a 4.0), así como de los poros del material, llenos con aire, agua o ambos.
- **Peso específico:** Es la relación existente entre el peso y el volumen de una sustancia. Dado que el peso de un objeto es la medida en que la atracción de la Tierra actúa sobre él, y al mismo tiempo el volumen es la superficie que dicho objeto ocupa, el peso específico constituye la relación entre ambas propiedades expresada en Newtons sobre metro cúbico (N/m^3), de acuerdo al Sistema Internacional.
- **Discontinuidades del macizo rocoso:** Las discontinuidades están presentes en la roca y afectan la resistencia, permeabilidad y durabilidad de la masa. Es

importante evaluar la geometría, naturaleza, estado y condición de las discontinuidades, porque ellas definen la fábrica estructural del macizo rocoso. Además de su génesis, la influencia en el comportamiento del macizo, exige evaluar la génesis de los rellenos, la cantidad de agua, las cicatrices y revestimientos en las paredes por materiales solubles, la abertura, rugosidad y persistencia de las discontinuidades, y el número de familias.

- **RQD de las rocas:** El índice RQD (Rock Quality Designation) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.
- **Aglomerado:** Conjunto de fragmentos rocosos, heterogéneos en cuanto a forma y composición, consolidados generalmente por materiales finos (arena, limo, arcilla).
- **Alteración:** Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, entre otros, sinónimo: intemperismo, meteorización.
- **Bloque:** Fragmento de roca de dimensiones superiores a 20 cms. de diámetro.
✓ Buzamiento: término usado para indicar el ángulo de inclinación de las rocas estratificadas o de estructuras geológicas.
- **Cizallamiento:** Es el proceso de fracturamiento de las rocas debido a los esfuerzos tectónicos.
- **Compactación:** disminución del espesor o potencia de la secuencia estratigráfica por el peso y la presión de las rocas suprayacentes.
- **Conglomerado:** Roca sedimentaria compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina.

- **Deformación:** Modificación que sufre una roca o material por acción de una o más esfuerzos.
- **Desplazamiento:** Es la distancia recorrida por un bloque rocoso a través de un plano de movimiento.
- **Esfuerzo:** fuerza aplicada sobre un área y/o superficie que tiende a cero.
- **Estratificación:** Disposición paralela o sub paralela que toman las capas de las rocas sedimentarias, durante su sedimentación.
- **Estrato:** Es la roca formada por la sedimentación de fragmentos o partículas provenientes de la desintegración de las rocas pre-existentes.
- **Estructura:** Esta referido a la disposición, arreglo y cohesión de los materiales constituyentes de un determinado cuerpo rocoso.
- **Falla:** Desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro colindante a esta o de ambos bloques, a través de un plano denominado “plano de falla”.
- **Granulometría:** Tecnología que se encarga de dictar normas correspondientes para determinar las dimensiones y las formas de los fragmentos de los materiales detríticos.
- **Macizo:** Termino usado en geotecnia para referirse a áreas rocosas cuyo núcleo está constituido de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias.
- **Muestra:** Pedazo de roca o mineral, de un tamaño y peso adecuado que pueda servir de elemento del cual se pueda obtener toda la información necesaria para realizar un estudio propuesto.
- **Plasticidad:** Propiedad de las rocas de deformarse al recibir un esfuerzo conservando la deformación al cesar el esfuerzo.

- **Porosidad:** Es la relación existente entre el volumen de los intersticios porosos y el volumen total de la roca o suelo. La porosidad se expresa siempre en porcentaje.
- **Rumbo:** Dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.
- **Saturación:** Cantidad de agua necesaria para que una roca porosa y permeable tenga todo su volumen de vacíos lleno de agua.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- a) Con el análisis geomecánico del macizo rocoso se determinara el tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método de taladros largos en el Manto Anita, U.M. Islay; garantizando una producción constante con altos índices de calidad y seguridad.

2.4.2. Hipótesis específica

- a) La caracterización geomecánica adecuada en la zona de estudio contribuye efectivamente a la explotación del Manto Anita por el método de taladros largos en la U.M. Islay.
- b) Las clasificaciones geomecánicas utilizadas en el presente estudio nos ayudaran a determinar el tipo de sostenimiento adecuado en la explotación del Manto Anita por el método de taladros largos en la U.M. Islay.

2.5. Identificación de variables

Se analiza cada variable interviniente en el presente estudio, las que se correlacionarán y compararán. Se identificaron las siguientes variables:

2.5.1. Variable independiente

Caracterización geomecánica

2.5.2. Variable dependiente

Tipo de sostenimiento

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

2.6.1. Variable independiente

Caracterización geomecánica

Dimensión

Características geológicas ingenieriles y físicas de las rocas circundantes en la zona de estudio.

Indicador

Clasificaciones geomecánicas y logeos geomecánicos de sondajes diamantinos.

2.6.2. Variable dependiente

Tipo de sostenimiento

Dimensión

Calidad del macizo rocoso de las cajas y zona de mineral en la zona de estudio.

Indicador

Presencia de controles estructurales y litológicos en la zona de estudio.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de investigación

Analizando la naturaleza del estudio de la investigación, reúne por su nivel las características de un estudio:

- ✓ Exploratorio: Se toman datos de análisis geomecánico en la zona de estudio de las estructuras geológicas.
- ✓ Descriptivo: Se describe en forma detallada la geomecánica de los macizos rocosos y de las estructuras mineralizadas.
- ✓ Explicativo: Definimos las causas y efectos que implican la caracterización geomecánica.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación utilizado es de tipo exploratorio, porque se buscó conocer los parámetros numéricos establecidos por clasificaciones geomecánicas mediante valoraciones la cuales nos ayudan a determinar el tipo de sostenimiento durante la explotación del manto Anita por el método de minado de

taladros largos mejorando la productividad en tonalaje y reduciendo los costos del ciclo de minado.

3.3. Métodos de investigación.

Se realiza un enfoque Cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geológica y geomecánica de las zonas de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos. El desarrollo del presente tema de investigación se realiza en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de la Investigación que se empleará en el presente estudio de investigación será no experimental del tipo transversal, ya que dicha investigación lo que hace es observar fenómenos y analizarlos en su entorno tal como se lleva a cabo, es decir, no se construye algo sino lo ya existente y así mismo no hay forma de influir sobre el entorno del comportamiento del macizo rocoso.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población estará representada por los tipos de rocas y estructura mineralizada que conforma la U.M. Islay, identificados en cartografiados geológicos en labores de preparación, desarrollo, producción, exploración y perforación diamantina.

3.5.2. Muestras

Para el estudio en particular será asociada la masa rocosa y zona de mineralización circundante en los laboreos del método de minado con taladros largos en el Manto Anita, U.M. Islay.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada para la recolección de datos son las siguientes:

- ✓ Observaciones de campo: Toma de datos y de muestras in situ, revisión de perforaciones diamantinas antiguas.
- ✓ Análisis documental: Revisión y recopilación de estudios geológicos - geomecánicos existentes del distrito Minero.

3.6.1. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

- ✓ Plantillas de Excel 2010 para procesamiento de información
- ✓ Informes y reportes operacionales
- ✓ Información de internet
- ✓ Tablas geomecánicas
- ✓ Flexómetro, distancio metro, escalímetro, picota.
- ✓ Útiles de escritorio para la toma de datos.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Para la investigación se ha seleccionado el instrument RQD (Rock Quality Designation) ¿Qué es? El RQD (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere en 1967 y es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso. Nos da idea del número y condiciones de las fracturas que afectan a los materiales.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizan técnicas investigativas con la recopilación de información y técnicas analíticas con la obtención de información necesaria tomadas in-situ en la masa rocosa circundante en la zona de estudio mediante cartillas geomecánicas. Se utiliza la siguiente técnica.

- ✓ Validar y revisar datos bibliográficos.

- ✓ Planificación para la observación de datos de campo.
- ✓ Toma de datos en campo para el cálculo mediante clasificaciones geomecánicas.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el tratamiento estadístico se utiliza la siguiente técnica.

- ✓ Plasmar los datos obtenidos en campo en los modelos de cartillas geomecánicas en Microsoft Excel.
- ✓ Validar la información obtenida en campo.
- ✓ Correlacionar los datos obtenidos en cada estación por las diferentes clasificaciones geomecánicas Para el procesamiento de datos se utilizan Microsoft Excel.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.

La investigación se desarrolló teniendo en cuenta las consideraciones éticas y los métodos y técnicas señaladas en el reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional Daniel A. Carrión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ubicación

La Mina Islay, como parte del importante distrito minero Animón – Huarón, se emplaza en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales Peruanos, en el departamento de Cerro de Pasco, provincia de Pasco y distrito de Huayllay. La Mina Islay se encuentra a 5.3 Km en línea recta al NW de la Mina Animón, a una elevación de 4,600 m.s.n.m.; su ubicación geográfica está dentro de las Coordenadas:

- ✓ Norte: 8'742,877.88
- ✓ Este: 339,946.71

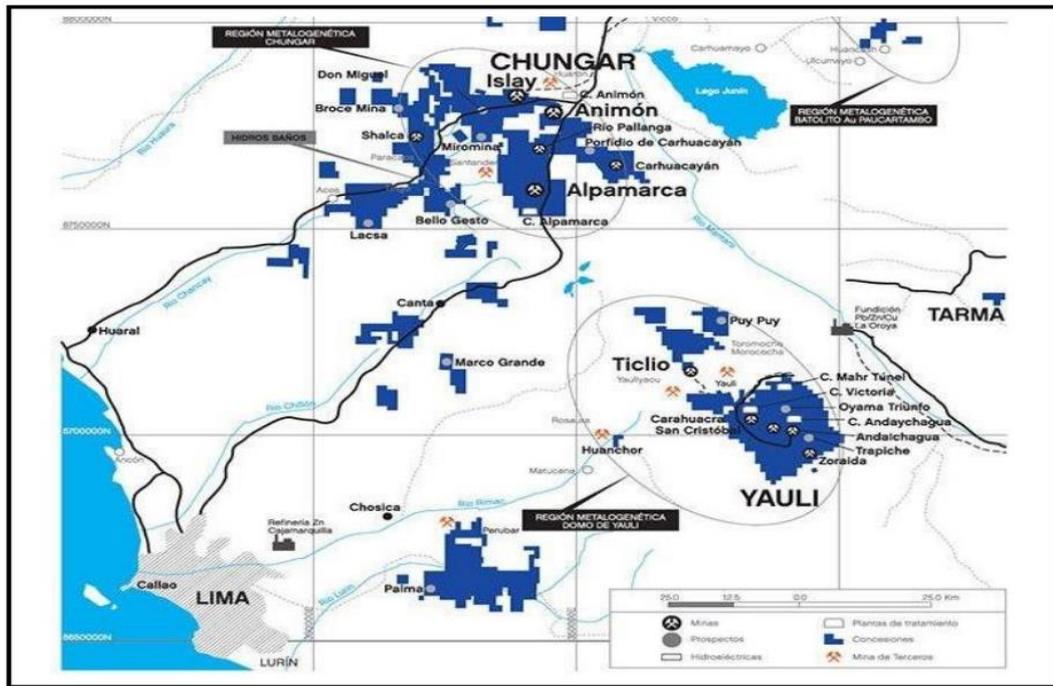


Figura 17. Plano de ubicación (Ref. Área de Geología- Chungar).

4.1.2. Acceso

La Mina islay es accesible desde Lima a través de 3 rutas principales:

	RUTAS DE ACCESO	VIA	Distancia (Km)	Tiempo (h)
1	Lima – Oroya - Cerro de Pasco - U.M. Chungar - Islay	Asfaltada	304	7
2	Lima – Huaral -U.M. Chungar - Islay	Asfaltada-Afirmada	225	5
3	Lima – Canta - U.M Chungar - Islay	Asfaltada-Afirmada	219	5

Tabla 18: Rutas de acceso a la U.M Islay.

4.1.3. Clima

Para la clasificación del clima usaremos los dos elementos meteorológicos más importantes los cuales son: Temperatura y Precipitación. En las partes altas de Cerro de Pasco y Ondores, donde las altitudes varían de 4,000 a 4,500 msnm, el clima es frío y seco debido a las precipitaciones y caída de nieve que se da en la Cordillera Occidental y Oriental. De acuerdo a los datos obtenidos del SENAMHI-2017, la temperatura y la precipitación se resume de la siguiente manera:

- ✓ Temperatura Promedio Máxima Anual 2017 es: 11.20 °C
- ✓ Temperatura Promedio Mínima Anual 2017 es: 1°C
- ✓ Temperatura Promedio Anual es: 5.88 °C

Según la clasificación Climática de Koppen (Ver figura N°5), tenemos que nuestra zona de trabajo tiene Clima H:

Simbología	Significado	Vegetación
Af	Tropical, con lluvias todo el año	Selva
Am	Tropical, con lluvias monzónicas	Bosque tropical
Aw	Tropical, con lluvias en verano	Sabana
Bs (Bsh / Bsk)	Seco, de la estepa	Herbácea
Bw (Bwh / Bwk)	Desértico	Xerófitas
Cf	Templado, con lluvias todo el año	Bosque mixto
Cx`	Templado, con lluvias escasas todo el año	Pastos
Cw	Templado con lluvias en verano	Pradera
Cs	Templado, con lluvias en invierno	Matorrales
Df	Boreal, con lluvias de todo el año	Bosque de coníferas
Dw	Boreal, con lluvias en verano	Bosque de coníferas
Et	Frio, tundra	Musgo, líquenes
Ef	Polar, de hielo perenne	Variable
H	Frio, tierras altas	

Tabla 19. Clasificación Climática de Koppen.

4.1.4. Geomorfología

La mina está situada en la zona central de la cordillera andina, a 4600 msnm, los relieves de dolinas con ambientes lagunares, indican una anisotropía producto de esfuerzos naturales en el modelamiento del relieve superficial.

La geomorfología tipo Meseta cuyo modelamiento principalmente se ha debido a la acción glaciár, evidenciado por la presencia de colinas y lomas de pendientes moderadas que también han sido modeladas por la acción pluvial, también hay evidencia de un modelamiento fluvio glaciár y fluvio pluvial, evidenciado por la presencia de las terrazas casi horizontales modelados por las escorrentías producto del deshielo y de las lluvias, que circundan en las zonas Norte y Oeste de las colinas y lomas.

La presencia de la Laguna Shegue en la zona Sur y Este del yacimiento indica la zona de menor cota en el lugar y por tanto presencia de una depresión que funciona como pequeña cuenca en el que todos los agentes modeladores (glaciár, lluvias) han derivado sus productos resultantes de la erosión. En los flancos de este lago y de los cauces de las escorrentías hay depósitos morrénicos.

Existen también depósitos cuaternarios de acumulación del tipo eluvial (ubicada in situ, sobre la masa rocosa), deluvial (ubicados en las laderas de las colinas) y coluvial (ubicados al pie de las elevaciones). En estos depósitos, distribuidos sobre gran parte del yacimiento, se han desarrollado bofedales.

4.1.5. Descripción geológica del tipo de roca y estructura mineralizada en estudio

✓ **Roca calcárea limo – arcillosa**

Son rocas sedimentarias de grano muy fino compuestas por carbonato cálcico, limo y arcilla. Normalmente estas rocas se clasifican como rocas detríticas. En función del porcentaje de carbonato cálcico frente al de arcillas se pueden clasificar en: marga arcillosa, marga limo arcillosa, marga y marga calcárea; también conocida como roca arcillosa compuesta por limo, arcilla y un 50% de CO_3Ca . Componentes: (carbonatos 25 - 75 %; arcillas 25 - 75%).

Marga Gris

Limo arcilla de matriz calcárea, de color gris verdosa clara; su coloración se debe a la intensa alteración de la marga roja por agentes meteóricos, físicos e hidrotermales, cuyas propiedades geomecánicas nos determinan rocas muy incompetentes; además, presentan un fracturamiento intenso y alto grado de alteración; en muchos casos estas características hacen que esta roca se comporte como suelo; principalmente está en contacto con la estructura mineralizada; gran parte de las labores se desarrollan sobre este tipo de roca.

Marga Roja

Limo arcilla calcárea, de color rojo grisáceo claro; de mayor consistencia que la marga gris, presenta algunas propiedades favorables de origen, como resistencia y baja alteración; está comprendida dentro la calificación geomecánica como roca regular, mala a muy mala; el fracturamiento es intenso, el grado de alteración es menor.

✓ **Rocas Clásticas Cementadas**

Son una clase de rocas sedimentarias compuestas de fragmentos, o clastos, de roca y minerales pre-existentes acumulados mecánicamente, que se han consolidado en mayor o menor grado. Se clasifican según el tamaño del grano, clastos, la composición material de cementación (matriz) y textura. Los factores de clasificación suelen ser útiles en la determinación de una muestra del ambiente de deposición. Entre estas rocas se encuentran las areniscas, conglomerados y brechas sedimentarias.

✓ **Arenisca**

Se presentan en estratos concordantes con los conglomerados y las margas, y en algunos sectores en capas delgadas dentro de las margas; son de grano fino a grueso, dentro de una matriz calcárea; presenta buena consistencia y está comprendida dentro la calificación geomecánica como roca competente; el fracturamiento es menor y el grado de alteración es bajo.

✓ **Conglomerado**

Conformado por fragmentos redondeados y heterométricos de caliza, cuarcita y volcánicos, dentro de una matriz arenosa gravosa calcárea; se presenta aisladamente en estratos paralelos a las areniscas y las margas; son mantos permeables, donde se presenta el agua fósil; la roca presenta una buena consistencia y está comprendida dentro la calificación Geomecánica como roca competente; no presenta planos definidos de fracturamiento y el grado de alteración es insipiente.

✓ **Estructura Mineralizada (Manto Anita)**

Las vetas se presenta como relleno de fallas, en zoneamientos variables en el contacto con las cajas principalmente se encuentran brechadas por fallas post

mineralización de desplazamiento variable; en las partes centrales la estructura es masiva con bandas sub verticales; es muy fracturada con planos irregulares, presenta microfisuras rellenos por calcita, pirita y material inablandable; se presenta también vetas con alto contenido de carbonatos esta zona es inestable por diferencia de densidades y alto fracturamiento, con el agua pasa a ser muy inestable; el grado de alteración es regular; es permeable y la circulación de aguas en el contacto entre la veta y la marga gris que se encuentra en las cajas techo y piso. Sus características físicas variables de acuerdo a cada veta como:

- Densidad (d) = 2.33 a 4.35 (Depende al estilo de mineralización).
- Resistencia a la compresión (R_c) = 18 hasta 140 Mpa
- Resistencia a la Tracción (R_t) = 2,69 a 7,39 Mpa
- Ángulo de fricción (ϕ) = 28.08° a 30.30°

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Caracterización del macizo rocoso

Registro de datos

El registro de la información geomecánica para la presente evaluación proviene del mapeo geomecánico realizado en la masa rocosa expuesta de las excavaciones subterráneas y logueo geotécnico que ha sido realizada a partir del registro fotográfico y revisión de los sondajes diamantinos antiguos. El mapeo geomecánico de la masa rocosa se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones en un total de 5 estaciones distribuidas en diferentes niveles del Manto Anita representadas por un área de extensión variable de la roca expuesta. La ubicación de las estaciones de medición está indicada en el siguiente cuadro:

ESTACIÓN	NIVEL	COORDENADAS UTM WGS-84		
		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN (m)
E1	Nv. 4335	340372.296	8782037.370	4425.485
E2	Nv. 4310	340394.455	8782023.480	4307.526
E3	Nv. 4290	340378.580	8781990.076	4288.687
E4	Nv. 4280	340400.408	8781980.485	4278.584
E5	Nv. 4270	340414.960	8781953.034	4267.458

Tabla 20: Ubicación de estaciones.

Además de realizar las ubicaciones de las estaciones, se realizó una inspección visual sobre la calidad del macizo rocoso en todas las labores donde se hizo el recorrido durante los trabajos de campo. Los parámetros de observación y medición tanto para el mapeo geomecánico y el logueo geotécnico siguiendo a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM). Estos parámetros fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Además, se evidencia un resumen de la distribución de las estaciones en el siguiente cuadro:

LITOLOGÍA	Nivel 4335	Nivel 4310	Nivel 4290	Nivel 4280	Nivel 4270	Total
Marga gris	1	1	1	1	1	5
Marga roja	1	1	1	1	1	5
Conglomerados	1	1	1	1	1	5
Areniscas	1	1	1	1	1	5
Estructura mineralizada	0	0	1	0	0	1
Total - Nivel	4	4	5	4	4	21

Tabla 21: Distribución de análisis geomecánico en estaciones por litología y niveles.

4.2.2. Caracterización Geomecánica de la zona de estudio

La caracterización geomecánica de la masa rocosa se realizó utilizando el criterio de Bieniawski de 1989 (RMR89 – Rock Mass Rating o Valoración de la Masa Rocosa) y el índice Q de la ley de Bartón. Los valores de designación de la calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal. A la vez se calcula el índice GSI utilizando el parámetro $RMR_{89} - 5$.

Tipo de roca (Clase)	Tipo de roca (Sub clase)	Rango RMR_{89}	Calidad según RMR_{89}	Color	Tipo de roca	Rango Q	Calidad según Q
I	I	81 – 100	I Muy buena		I	40.0 – 100.00	Muy buena
II	II	61 – 80	II Buena		II	10.00 – 40.00	Buena
III	IIIA	51 – 60	III Regular A		III	4.00 – 10.00	Regular
	IIIB	41 – 50	III Regular B				
IV	IVA	31 – 40	IVA Mala A		IV	1.00 – 4.00	Mala
	IVB	21 – 30	IVB Mala B				
V	V	0 – 20	V Muy Mala		V	0.10 – 1.00	Muy mala

Tabla 22: Relación entre el RMR_{89} y el índice Q de la ley de Bartón en el análisis geomecánico.

a) Análisis de RQD

Para calcular el RQD utilizaremos la fórmula ya mencionada en la parte teórica, ya que el análisis se realizó en la masa rocosa expuesta de las excavaciones subterráneas en las distintas estaciones, las cuales se mencionan a continuación:

Marga gris

MARGA GRIS			
ESTACIÓN	J_v	RQD	RQD
E1	30	$115 - 3.3(J_v)$	16.00
E2	28	$115 - 3.3(J_v)$	22.60
E3	29	$115 - 3.3(J_v)$	19.30
E4	27	$115 - 3.3(J_v)$	25.90
E5	30	$115 - 3.3(J_v)$	16.00
PROMEDIO DE RQD			19.96

Tabla 23: Cálculo de RQD por estaciones y promedio de Marga Gris.

Marga roja

MARGA ROJA			
ESTACIÓN	Jv	RQD	RQD
E1	30	115-3.3(Jv)	16.00
E2	25	115-3.3(Jv)	32.50
E3	22	115-3.3(Jv)	42.40
E4	24	115-3.3(Jv)	35.80
E5	23	115-3.3(Jv)	39.10
PROMEDIO DE RQD			33.16

Tabla 24: Cálculo de RQD por estaciones y promedio de Marga Roja.

Arenisca

ARENISCA			
ESTACIÓN	Jv	RQD	RQD
E1	18	115-3.3(Jv)	55.60
E2	20	115-3.3(Jv)	49.00
E3	26	115-3.3(Jv)	29.20
E4	14	115-3.3(Jv)	68.80
E5	15	115-3.3(Jv)	65.50
PROMEDIO DE RQD			53.62

Tabla 25: Cálculo de RQD por estaciones y promedio de Arenisca.

Conglomerado

CONGLOMERADO			
ESTACIÓN	Jv	RQD	RQD
E1	16	115-3.3(Jv)	62.20
E2	17	115-3.3(Jv)	58.90
E3	23	115-3.3(Jv)	39.10
E4	12	115-3.3(Jv)	75.40
E5	13	115-3.3(Jv)	72.10
PROMEDIO DE RQD			61.54

Tabla 26: Cálculo de RQD por estaciones y promedio de Conglomerado.

Estructura mineralizada

ESTRUCTURA MINERALIZADA	RQD
PROMEDIO	<25

Tabla 27: RQD promedio de Estructura Mineralizada.

b) Análisis del índice Q de la ley de Barton

Marga gris

MARGA GRIS							
ESTACIÓN	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
E1	16.00	12	0.50	8	1	10.00	0.008
E2	22.60	9	1.50	4	1	5.00	0.188
E3	19.30	12	0.50	8	1	10.00	0.010
E4	25.90	9	1.00	4	1	5.00	0.144
E5	16.00	12	0.50	8	1	10.00	0.008
PROMEDIO Q							0.072

Tabla 28: Cálculo del índice Q por estaciones y promedio de Marga Gris.

Marga roja

MARGA ROJA							
ESTACIÓN	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
E1	16.00	12	1	2	1	10.00	0.067
E2	32.50	9	2	1	1	5.00	1.444
E3	42.40	6	2	1	1	2.50	5.653
E4	35.80	6	2	1	1	5.00	2.387
E5	39.10	6	2	1	1	2.50	5.213
PROMEDIO Q							2.953

Tabla 29: Cálculo de índice Q por estaciones y promedio de Marga Roja.

Arenisca

ARENISCA							
ESTACIÓN	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
E1	55.60	3	3	1	1	5.00	11.120
E2	49.00	3	3	1	1	5.00	9.800
E3	29.20	9	1	3	1	10.00	0.108
E4	68.80	3	3	1	1	5.00	13.760
E5	65.50	3	3	1	1	5.00	13.100
PROMEDIO Q							9.578

Tabla 30: Cálculo de índice Q por estaciones y promedio de Arenisca.

Conglomerado

CONGLOMERADO							
ESTACIÓN	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
E1	62.20	3	4	1	1	2.5	33.173
E2	58.90	3	4	1	1	2.5	31.413
E3	39.10	6	3	2	1	5.0	1.955
E4	75.40	3	4	1	1	2.5	40.213
E5	72.10	3	4	1	1	2.5	38.453
PROMEDIO Q							29.042

Tabla 31: Cálculo de índice Q por estaciones y promedio de Conglomerado.

Estructura mineralizada

ESTRUCTURA MINERALIZADA							
	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
PROMEDIO	25.00	1	1	1	1	7.50	3.333

Tabla 32: índice Q promedio de Estructura Mineralizada.

c) Análisis promedio de RMR89

Marga gris



Lugar: Unidad Islay / Manto Anita														
Tipo de Roca y/o Mineral: Marga gris (Mpa) = 45.40 / RQD = 19.96 %														
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)														
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES													VALORACIÓN
RESIST. COMP. UNIAxIAL	15	>250=R6	12	100-250 =R5	7	50-100=R4	4	25-50 =R3	2	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	4		
RQD (% (fracts.))	20	90-100 (2-6)	17	75-90 (6-12)	13	50-75 (12-20)	8	25-50 (>20 frac)	3	<25 (Bxdo)	2	3		
ESPACIAMIENTO (m)	20	>2.00	15	0.60-2.00	10	0.20-0.60	8	0.06-0.20	5	<0.06	3	5		
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (m)	6	<1 m	4	1-3 m	2	3-10 m	1	10-20 m	0	> 20 m	4A	0	
	APERTURA (m)	6	Cerrada	5	<0.1 mm	4	0.1-1.0 mm	1	1 - 5 mm	0	> 5 mm	4B	1	
	RUGOSIDAD	6	Muyrugosa	5	Rugosa	3	Ligermente rugosa	1	Lisa	0	Superficies pulidas	4C	3	
	RELLENO	6	Limpia	4	Duro < 5mm	2	Duro> 5mm	2	Blando < 5 mm	0	Blando > 5 mm	4D	2	
	ALTERACIÓN	6	Inalterada	5	Ligeramente Alterada	3	Moderamente Alterada	1	Fuertemente Alterada	0	Descompuesta	4E	3	
AGUA SUBTERRÁNEA	15	Seco	10	Humeda	7	Mojado	4	Goleo	0	Flujo	5	7		
VALOR TOTAL RMR													28	
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR	100-81	80-61	60-51	50-41	40-31	30-21	20-0	28						
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III-A REGULAR A	III-B REGULAR B	IV-A MALA A	IV-B MALA B	V MUY MALA	IV-B MALA B						

Tabla 34: Análisis de RMR89 promedio de Marga roja.

Arenisca



Lugar: Unidad Islay / Manto Anita																
Tipo de Roca y/o Mineral: Arenisca (Mpa) = 43.82 / RQD = 53.62 %																
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES														VALORACIÓN	
RESIST. COMP. UNIAxIAL	15	>250=R6	12	100-250 =R5	7	50-100=R4	4	25-50 =R3	2	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	4				
RQD (%) (fract.)	20	90-100 (2-6)	17	75-90 (6-12)	13	50-75 (12-20)	8	25-50 (>20 frac)	3	<25 (Bxdo)	2	13				
ESPACIAMIENTO (m)	20	>2.00	15	0,60-2.00	10	0,20-0,60	8	0,06-0,20	5	<0,06	3	10				
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (m)	6	<1 m	4	1-3 m	2	3-10 m	1	10-20 m	0	> 20 m	4A	2			
	APERTURA (m)	6	Cerrada	5	<0.1 mm	4	0.1-1.0 mm	1	1 - 5 mm	0	> 5 mm	4B	4			
	RUGOSIDAD	6	Muyrugosa	5	Rugosa	3	Ligeremente rugosa	1	Lisa	0	Superficies pulidas	4C	3			
	RELLENO	6	Limpia	4	Duro < 5mm	2	Duro> 5mm	2	Blando < 5 mm	0	Blando > 5 mm	4D	4			
	ALTERACIÓN	6	Inalterada	5	Ligeremente Alterada	3	Moderamente Alterada	1	Fuertemente Alterada	0	Descompuesta	4E	5			
AGUA SUBTERRÁNEA	15	Seco	10	Humeda	7	Mojado	4	Goteo	0	Flujo	5	10				
VALOR TOTAL RMR												55				
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR	100-81		80-61		60-51		50-41		40-31		30-21		20-0		55	
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III-A REGULAR A		III-B REGULAR B		IV-A MALA A		IV-B MALA B		V MUY MALA		III-A REGULAR A	

Tabla 35: Análisis de RMR89 promedio de Arenisca.

Conglomerado



Lugar: Unidad Islay / Manto Anita																	
Tipo de Roca y/o Mineral: Conglomerado (Mpa) = 91.80 / RQD = 61.54 %																	
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																	
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES														VALORACIÓN		
RESIST. COMP. UNIAxIAL	15	>250=R6		12	100-250=R5		7	50-100=R4		4	25-50=R3		2	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	7	
RQD (%) (fracts.)	20	90-100 (2-6)		17	75-90 (6-12)		13	50-75 (12-20)		8	25-50 (>20 frac)		3	<25 (Bxdo)	2	13	
ESPACIAMIENTO (m)	20	>2.00		15	0.60-2.00		10	0.20-0.60		8	0.06-0.20		5	<0.06	3	15	
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (m)	6	<1 m		4	1-3 m		2	3-10 m		1	10-20 m		0	> 20 m	4A	4
	APERTURA (m)	6	Cerrada		5	<0.1 mm		4	0.1-1.0 mm		1	1 - 5 mm		0	> 5 mm	4B	5
	RUGOSIDAD	6	Muy rugosa		5	Rugosa		3	Ligermente rugosa		1	Lisa		0	Superficies pulidas	4C	3
	RELLENO	6	Limpia		4	Duro < 5mm		2	Duro > 5mm		2	Blando < 5 mm		0	Blando > 5 mm	4D	4
	ALTERACIÓN	6	Inalterada		5	Ligermente Alterada		3	Moderamente Alterada		1	Fuertemente Alterada		0	Descompuesta	4E	5
AGUA SUBTERRÁNEA	15	Seco		10	Humeda		7	Mojado		4	Goteo		0	Flujo	5	10	
VALOR TOTAL RMR																66	
CLASE DE MACIZO ROCOSO																	
RMR	100-81		80-61		60-51		50-41		40-31		30-21		20-0		66		
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA		II BUENA		III-A REGULAR A		III-B REGULAR B		IV-A MALA A		IV-B MALA B		V MUY MALA		II BUENA		

Tabla 36: Análisis de RMR89 promedio de Conglomerado.

Estructura mineral



Lugar: Unidad Islay / Manto Anita																
Tipo de Roca y/o Mineral: Estructura mineralizada (Mpa) = 98.40 / RQD = <25 %																
VALORIZACION DEL MACIZO (R.M.R) - Clasificación RMR de Bieniawski (1989)																
PARÁMETRO		RANGO DE VALORES Y VALORIZACIONES														VALORACIÓN
RESIST. COMP. UNIAxIAL		15	>250=R6	12	100-250 =R5	7	50-100=R4	4	25-50 =R3	2	<25(2)=R2, <5(1)=R1	1	7			
RQD (%) (fracts.)		20	90-100 (2-6)	17	75-90 (6-12)	13	50-75 (12-20)	8	25-50 (>20 frac)	3	<25 (Bxdo)	2	3			
ESPACIAMIENTO (m)		20	>2.00	15	0,60-2.00	10	0,20-0,60	8	0,06-0,20	5	<0,06	3	5			
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA (m)	6	<1 m	4	1-3 m	2	3-10 m	1	10-20 m	0	> 20 m	4A	1			
	APERTURA (m)	6	Cerrada	5	<0.1 mm	4	0.1-1.0 mm	1	1 - 5 mm	0	> 5 mm	4B	1			
	RUGOSIDAD	6	Muy rugosa	5	Rugosa	3	Ligermente rugosa	1	Lisa	0	Superficies pulidas	4C	1			
	RELLENO	6	Limpia	4	Duro < 5mm	2	Duro > 5mm	2	Blando < 5 mm	0	Blando > 5 mm	4D	2			
	ALTERACIÓN	6	Inalterada	5	Ligeramente Alterada	3	Moderadamente Alterada	1	Fuertemente Alterada	0	Descompuesta	4E	6			
AGUA SUBTERRÁNEA		15	Seco	10	Humeda	7	Mojado	4	Goteo	0	Flujo	5	4			
VALOR TOTAL RMR													30			
CLASE DE MACIZO ROCOSO																
RMR		100-81		80-61		60-51		50-41		40-31		30-21		20-0		30
DESCRIPCION		I MUY BUENA		II BUENA		III-A REGULAR A		III-B REGULAR B		IV-A MALA A		IV-B MALA B		V MUY MALA		IV-B MALA B

Tabla 37: Análisis de RMR89 promedio de la Estructura mineralizada.

d) Análisis promedio de RMR₈₉

$$\text{RMR}_{89} > 23 = \text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

$\text{RMR}_{89} < 23 =$ No se puede utilizar el RMR₈₉ para la obtención del GSI.

Para la obtención del GSI utilizaremos el parámetro 1 debido que para la obtención del RMR utilizamos el RMR₈₉ y los valores obtenidos son > 23 .

LITOLOGÍA	Valor obtenido RMR ₈₉	Valor GSI (RMR ₈₉ - 5)
Marga Gris	28	23
Marga Roja	40	35
Arenisca	55	50
Conglomerado	66	61
Estructura mineralizada	30	25

Tabla 38: Cálculo de valoración GSI según la relación con el RMR₈₉

4.2.3. Condición de agua subterránea

La presencia del agua dentro de la masa rocosa influye adversamente en las condiciones de estabilidad de las labores subterráneas. Su principal efecto es la presión que ejerce en las discontinuidades, disminuyendo la resistencia al corte y por tanto disminuyendo el factor de seguridad o grado de estabilidad, por ello es importante tomarlo en cuenta. Según el “Estudio hidrogeológico de profundización Nivel 150” desarrollado por Hidroandes Consultores S.A.C. en agosto de 2013 se observa que:

- ✓ La infiltración y el movimiento de aguas subterráneas en el subsuelo están controlado por anomalías estructurales como son los estratos clásticos y pelíticos altamente fracturados por el tectonismo andino de la zona. El macizo rocoso en la zona de estudio corresponde a un “medio fracturado” con control tectónico.

- ✓ La clasificación de las unidades hidrogeológicas identifica a las margas rojas como “acuífugo”, las margas grises como “acuitardo”, a los intrusivos como “acuitardo” y las vetas como “acuífero local”.
- ✓ En el Nivel 250, el agua de mina en todas las labores es mayor a 25 IL/Min en 10 metros de labor, principalmente por goteo esto significa como zonas húmedas; mientras que en los Niveles 200 y 175 el agua se incrementa hasta flujos ligeros mayor a 40 L/Min en 10 m de longitud, esto en la estructura mineralizada que es más permeable y es temporal hasta que baje la capa freática.

Al ser mayor la existencia de roca de mala calidad (IVA y IVB) en las cajas (piso y techo) y mineral, la presencia de agua perjudica a la calidad de la masa rocosa, más aún cuando se trata de terrenos de muy mala calidad (V). Por tal motivo es importante controlar la dirección del avance del flujo de agua con el fin de minimizar la presencia de agua en sectores donde la masa rocosa es de mala calidad.

En minería subterránea es inevitable tener que lidiar con la presencia del agua debido a que las labores de desarrollo y de explotación ingresan casi siempre debajo de la capa freática. La manera más común de controlar la presencia del agua subterránea es mediante la depresión (abatimiento) del nivel freático con labores de drenaje en niveles inferiores, como túneles, esto debido a la facilidad que presta la topografía del área para la construcción de los túneles de drenaje. En caso de minas que se encuentran debajo de lagunas y que la topografía general del área es como una meseta andina, no es posible construir una labor de drenaje debajo del Nivel 3900 msnm.

4.2.4. Interpretación de la calidad de macizo rocoso según los parámetros obtenidos en las clasificaciones geomecánicas

Resumen de la calidad del macizo rocoso

Calidad del macizo rocoso según RQD

LITOLÓGIA	Rango RQD	Valor obtenido RQD	Calidad según RQD
Marga Gris	<25%	19.96	Muy mala
Marga Roja	25 - 50 %	33.16	Mala
Arenisca	50 - 75 %	53.62	Regular
Conglomerado	50 - 75 %	61.54	Regular
Estructura mineralizada	<25 %	<25	Muy mala

Tabla 39: Calidad del macizo rocoso según RQD.

Calidad del macizo rocoso según el índice Q de Barton

LITOLÓGIA	Rango Q	Valor obtenido Q	Calidad según Q
Marga Gris	0.01 – 0.10	0.072	Extremadamente Mala
Marga Roja	1.00 – 4.00	2.953	Mala
Arenisca	4.00 – 10.00	9.578	Regular
Conglomerado	10.00 – 40.00	29.042	Buena
Estructura mineralizada	1.00 – 4.00	3.333	Mala

Tabla 40: Calidad del macizo rocoso según el índice Q de Barton.

Calidad del macizo rocoso según el RMR₈₉ de Bieniawsky.

LITOLÓGIA	Tipo de roca (Clase)	Tipo de roca (Sub clase)	Rango RMR	Valor obtenido RMR	Calidad según RMR
Marga Gris	IV	IVB	21 – 30	28	IVB Mala B
Marga Roja		IVA	31 – 40	40	IVA Mala A
Arenisca	III	IIIA	51 – 60	55	III Regular A
Conglomerado	II	II	61 – 80	66	II Buena
Estructura mineralizada	IV	IVB	21 – 30	30	IVB Mala B

Tabla 41: Calidad del macizo rocoso según el RMR₈₉ de Bieniawsky.

Calidad del macizo rocoso según el GSI (Geological Strength Índice).

LITOLÓGIA	Clase	Rango GSI	Valor GSI (RMR ₈₉ - 5)	Calidad según GSI
Marga Gris	IV	21 – 40	23	Mala
Marga Roja	IV	21 – 40	35	Mala
Arenisca	III	41 – 60	50	Regular
Conglomerado	II	61 – 80	61	Buena
Estructura mineralizada	IV	21 – 40	25	Mala

Tabla 42: Calidad del macizo rocoso de según el GSI.

a) Interpretación de la calidad del macizo rocoso

LITOLÓGIA	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA				CALIDAD DE MACIZO ROCOSO
	RQD	Q	RMR ₈₉	GSI (RMR ₈₉ - 5)	
Marga Gris	19.96	0.072	28	23	Mala
Marga Roja	33.16	2.953	40	35	Mala
Arenisca	53.62	9.578	55	50	Regular
Conglomerado	61.54	29.042	66	61	Buena
Estructura mineralizada	<25	3.333	30	25	Mala

Tabla 43: Interpretación de la calidad del macizo rocoso circundante en la zona de estudio.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Determinación de sostenimiento en excavaciones permanentes según RMR89 e índice Q.

Dentro de este grupo de excavaciones están consideradas, por ejemplo: rampas, galerías de nivel, talleres de mantenimiento, estaciones de bombeo, comedores, polvorines, etc. En este tipo de excavaciones debe instalarse un sostenimiento también permanente, que sea resistente a la corrosión y que sea capaz de soportar cargas adicionales debidas a los cambios de las condiciones de esfuerzos a lo largo de la vida de la mina. Según los resultados de la clasificación geomecánica, las excavaciones permanentes deben ubicarse en la caja piso alejado,

en donde predomina la presencia de masas rocosas de calidad Regular A (IIIa regular A).

En Islay las calidades de masa rocosa en estudio pertenecen a los dominios Mala, en menor grado al dominio Regular y dominio buena, por tanto, la mayoría de las excavaciones requieren de sostenimiento.

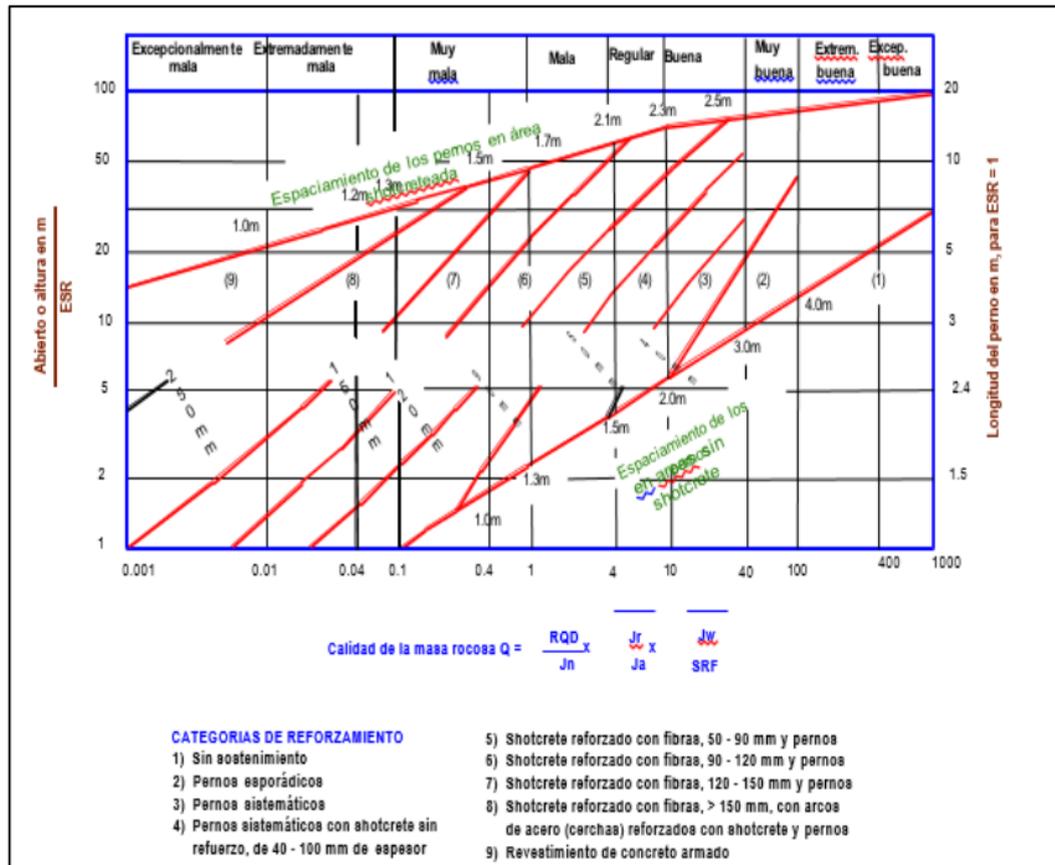


Figura 49: Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes (Según Grimstad y Barton, 1993).

En mina Islay la mayoría de las labores permanentes tienen 4 m de ancho x 4 – 4.5 m de altura, el sostenimiento recomendado para estas labores se presenta en el siguiente cuadro:

LITOLÓGIA	DOMINIO	SOSTENIMIENTO
Conglomerado	RMR ₈₉ : II Buena Q : Buena	Pernos de 7' tipo barras helicoidales o varilla corrugada inyectados completamente con cemento o resina esporádicos según sea la necesidad del caso.
Arenisca	RMR ₈₉ : IIIA - Regular A Q : Regular	Pernos sistemáticos de 7' espaciados cada 1.5 m y donde se requiera añadir una capa de 2" de espesor de shotcrete.
Marga Roja	RMR ₈₉ : IVA - Mala A Q : Mala	Una capa de shotcrete reforzado de 3" de espesor más pernos hydrabolts sistemáticos de 7' longitud espaciado de 1.3 m. O Malla electrosoldada con Pernos hydrabolts de 7' espaciados a 1.3 m más una capa de shotcrete de 2" sobre la malla.
Marga Gris y Estructura Mineralizada	RMR ₈₉ : IVB - Mala B Q : Extremadamente Mala	Una capa de shotcrete de 2" de espesor lanzado preventivamente, luego malla electrosoldada con pernos hydrabolts sistemáticos de 7' de longitud, espaciado cada 1.0 m; sobre ella aplicar shotcrete de 3" de espesor hasta cubrir la malla. Alternativamente, utilizar cimbras tipo 6W20 espaciadas cada 1.5 m.

Tabla 44: Tipo de sostenimiento para labores permanentes dependiendo el tipo de dominio geomecánico según RMR89 e índice Q.

4.3.2. Sostenimiento en excavaciones temporales según RMR₈₉ e índice Q

Para el caso de estas labores de avance asociadas al minado en los tajeos, como galerías y cruceros de acceso a los tajeos en roca estéril o en mineral (bypass, ventanas de acceso, subniveles en veta y otros), las excavaciones temporales del tipo de ingreso de personal dentro de las mismas tienen tamaño suficiente para permitir realizar un buen desatado periódico o reforzarlo adicionalmente. Para el caso de Islay estas labores mineras tienen anchos de 3.5 a 4 m y alturas de 4 a 4.5 m.

LITOLÓGIA	DOMINIO	SOSTENIMIENTO
Conglomerado	RMR ₈₉ : II Buena Q : Buena	No requiere sostenimiento sistemático, sino solo esporádico.
Arenisca	RMR ₈₉ : IIIA - Regular A Q : Regular	Pernos split sets de 7' sistemático espaciado a 1.7 m donde sea necesario.
Marga Roja	RMR ₈₉ : IVA - Mala A Q : Mala	Una capa de shotcrete de 2" de espesor lanzado preventivamente, luego malla electrosoldada con pernos split sets sistemáticos de 7' longitud, espaciado cada 1.0 m; sobre ello aplicar shotcrete de como mínimo 2" de espesor para cubrir la malla.
Marga Gris y Estructura Mineralizada	RMR ₈₉ : IVB - Mala B Q : Extremadamente Mala	Una capa preventiva de shotcrete de 3" de espesor, luego malla electrosoldada con pernos split set espaciados a 0.7 m o pernos hydrabolts espaciados a 1.0 m, sobre ello otra capa de shotcrete de 3" de espesor. De ser necesario usar cuadros de madera, paquetes de madera, gatas, puntales y otros.

Tabla 45: Tipo de sostenimiento para labores temporales dependiendo del tipo de dominio geomecánico.

4.3.3. Sostenimiento en excavaciones permanentes y temporales según GSI.

ESTRUCTURA		CONDICION SUPERFICIAL			
<p>Ancho de Labor: 4.00 metros Altura de labor: 4.00 metros</p> <p>A Sin sostenimiento, perno ocasional</p> <p>B Perno sistemático: 1.50 x 1.50 metros.</p> <p>C Malla + perno sist. 1.50 x 1.50 metros *Shotcrete 2" C/F + perno sist. @ 1.50</p> <p>D Shotcrete 4" S/F + malla/perno sist. @ 1.50 *Shotcrete 4" S/F + malla/perno + Fe corrugado **Cuadros de madera de 15', 12" @ a 5 pies</p> <p>E Cuadros de madera de 15', 12" @ a 3 pies *Cimbras H8" dos cuerpos @ a 1.00 metro.</p>		<p>BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc = 100 - 250 Mpa) (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA)</p>	<p>REGULAR (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RÁPIDAS, LEVEMENTE ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN, LIGER ABERTAS. (Rc = 50 - 100 Mpa) (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA)</p>	<p>POBRE (MODER. RESIST. MODERAD. ALTERADA) DISCONTINUIDADES LIGAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, FRACTURAS ABIERTAS. (Rc = 25 - 50 Mpa) (SE INCENTA SUPERFICIALMENTE CON GOLPE DE PICOTA)</p>	<p>MUY POBRE (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIE PULIDA O CON ESTRACIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc = 5 - 25 Mpa) (SE INCENTA MAS DE 5 mm CON PICOTA)</p>
<p>MODERADAMENTE FRACTURADA MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA BLOQUES CUBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD = 50 A 75) (6 A 12 FRACTURAS/METRO LINEAL)</p>	F/B	F/R	F/P	F/MP	
<p>MUY FRACTURADA MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MAS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES (RQD = 25 A 50) (12 A 20 FRACTURAS /METRO LINEAL)</p>	MF/B	MF/R	MF/P	MF/MP	
<p>INTENSAMENTE FRACTURADA CON PLEGAMIENTOS Y FALLAMIENTOS, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO TROZOS ANGULOSOS E IRREGULARES (RQD = 0 A 25) (MAS DE 20 FRACTURAS/METRO LINEAL)</p>	IF/B	IF/R	IF/P	IF/MP	
<p>TRITURADA Y BRECHADA MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE FRACTURADA, MEZCLA DE PARTICULAS FINAS Y FRAGMENTOS DISCREGABLES, MATRIZ PLASTIFICADA DE ESTRUCTURA FLUIDAL, PANIZOS Y OXIDOS EN FALLAS. (SIN RQD)</p>	T/B C*	T/R	TP	T/MP	

Figura 50: Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes y temporales según GSI.

LITOLOGÍA	DOMINIO	SOSTENIMIENTO
Conglomerado	Buena	Perno sistemático 1.50 x 1.50 metros.
Arenisca	Regular	Malla + Perno sistemático 1.50 x 1.50 metros. Shotcrete 2" con fibra + perno sistemático de 1.50 metros
Marga Roja Marga gris Estructura mineralizada	Mala	Shotcrete 4" sin fibra + malla/perno sistemático de 1.50 metros Shotcrete 4" sin fibra + malla/perno + fierro corrugado

Tabla 46: Tipo de sostenimiento para labores permanentes y temporales dependiendo del tipo de dominio geomecánico GSI.

4.4. Discusión de resultados

✓ Condiciones de estabilidad global

En el caso de mina Islay, la influencia del minado sobre las condiciones de estabilidad global está condicionada principalmente por la utilización del método subniveles con taladros largos y relleno. Como con este método de minado se abren tajeos relativamente grandes en calidades de masa rocosa de Mala A (DE-IVA) a Regular B (DE-IIIB), se producen perturbaciones significativas en la masa rocosa entorno a los tajeos, principalmente cuando estos están vacíos. La influencia recíproca de las perturbaciones que se generan debido al minado de vetas adyacentes no es muy significativa y presenta factores de resistencia (SF) aceptables. Particularmente en el caso de los pernos hydrabolts, utilizados en excavaciones permanentes, en las calidades inferiores de masa rocosa (DE-IIIB hacia abajo), en Islay hay precedentes de buen comportamiento como parte de los sistemas de sostenimiento, por tanto se debe mantener su utilización en los estándares de sostenimiento. Para las rocas de los dominios DE-II y DE-IIIA se puede recomendar pernos tipo barras helicoidales o varilla corrugada inyectados completamente con cemento o resina, en este último caso en presencia de agua. El análisis hasta aquí presentado es válido solo si están ausentes las formaciones de cuñas en los techos y paredes de las excavaciones. En ese sentido, se debe complementar este análisis con los análisis de la estabilidad estructuralmente controlada que se presenta líneas abajo para el caso de las masas rocosas de los dominios DE-IIIB hacia arriba. Para el caso de los dominios de calidad inferiores (DE-IVA, DE-IVB y DE-V) no es relevante el análisis de estabilidad estructuralmente controlada puesto que los procesos de inestabilidad dependerán en este caso

de la calidad y resistencia de la masa rocosa. Para el caso de tajeos, los sostenimientos utilizados serán por lo general los que corresponden a rocas de los dominios DE-IVA y DE- IVB que son los que predominan en el mineral.

✓ **Condiciones de estabilidad local**

Partiendo que el mineral es de calidad IVA a IVB y que en las cajas inmediatas se presentan masas rocosas de calidad IVA y IIIB. Se pone énfasis en las cajas inmediatas porque éstas son las que quedan expuestas luego de la explotación. Los resultados han mostrado que las condiciones de estabilidad de las paredes de los tajeos en ambas calidades de roca se hallan en el límite del equilibrio, siendo menos favorable como es lógico en los tajeos con cajas inmediatas de calidad IVA. Por tanto, particularmente en rocas de calidad IVA la realización del minado con taladros podría generar problemas de inestabilidad local de las cajas, considerando que las margas tienen baja resistencia y la profundidad de minado supera los 500 m. En el caso de la calidad IIIB, las condiciones de estabilidad de las cajas son más manejables.

✓ **Estabilidad estructuralmente controlada**

Las discontinuidades estructurales como fallas, diaclasas, estratos y otros, constituyen planos de debilidad, que, al interceptarse, podrían formar cuñas o bloques rocosos en el techo y/o paredes de la excavación, presentando libertad para descolgarse, rotar o deslizar. Por tanto, la estabilidad de las excavaciones rocosas estará condicionada por la presencia de estas cuñas o bloques, a esto es lo que se llama “estabilidad estructuralmente controlada”.

A fin de evaluar la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa en las distintas labores de la mina Islay en relación a las condiciones de estabilidad de las excavaciones que están asociadas al minado, se ha realizado un análisis

de estabilidad estructuralmente controlada, utilizando el programa de cómputo UNWEDGE (Rocscience, 2002). Para este análisis es importante acotar que la influencia estructural en las excavaciones tiene mayor relevancia cuando la calidad de la masa rocosa pertenece a los dominios desde el DE-III A y superiores. En rocas de calidad inferior no es tan relevante este análisis debido a que la estabilidad depende de la calidad, resistencia y esfuerzos de la masa rocosa, en estas rocas por lo general hay necesidad de utilizar sostenimiento, el mismo que cubre la necesidad de sostenimiento debido a la influencia del aspecto estructural en la estabilidad.

Los resultados indican que las cuñas que se forman tienen mayor implicancia en la estabilidad cuando las excavaciones siguen paralelas al rumbo de las vetas.

De acuerdo con los estándares de sostenimiento de mina Islay, los pernos que deberían utilizarse serían los hydrabolts para labores permanentes y los split sets para labores temporales. Alternativamente se puede utilizar una capa de shotcrete de 2" de espesor. Los resultados de los análisis de estabilidad estructuralmente controlada deben ser tomados en cuenta en adición a los sostenimientos anteriormente recomendados.

Otro aspecto estructural importante es aquel relacionado a la presencia de las zonas de fallas o zonas de contacto donde el tratamiento del sostenimiento obedece a un tema operacional. Por otro lado, las técnicas de perforación y voladura que se utilicen tendrán un rol importante en estos casos, siendo recomendable realizar cuidadosos diseños y ejecuciones de perforación y voladura controlada para mantener principalmente la estabilidad adecuada de las paredes de los tajeos.

CONCLUSIONES

1. En la Mina Islay los macizos rocosos y las rocas caja de las estructuras mineralizadas son variables, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de mala calidad como la Marga gris a rocas de buena calidad como los conglomerados, donde el riesgo es la caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud, si no se controlan a tiempo.
2. La caracterización geomecánica nos dejan parámetros marcados como: El espaciado de las juntas se encuentra entre 0,05 a 0,30 m, las familias de discontinuidades es e n p r o m e d i o 5, la resistencia es menor a 15 MPa en cajas y menor de 60 MPa en mineral, alteración intensa en cajas y selectivo en mineral, el relleno de fisuras es por arcillas, las aguas subterráneas son por goteo en las cajas y flujos en la estructura mineralizada.
3. Particularmente en rocas de calidad IVA la realización del minado con taladros podría generar problemas de inestabilidad local de las cajas, considerando que las margas tienen baja resistencia y la profundidad de minado supera los 500 m. En el caso de la calidad IIIB, las condiciones de estabilidad de las cajas son más manejables.
4. Se concluye que el método de explotación por taladros largos es factible en el Manto Anita, cuando se cumplen todos los parámetros establecidos en la caracterización geomecánica del macizo rocoso.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el sostenimiento de Shotcrete 2" de espesor con pernos hydrabolt de 7 pies, en forma sistemático a 1.50 m, de espaciamiento para rocas margosas, y si existe tramos de fallamiento se refuerza con malla electro soldada de 2x2.
2. Cuando una labor subterránea es excavada en zonas del eznables, sin cohesión, se recomienda en forma imprescindible instalar cimbras metálicas en calidad de soportes temporales para conservar la sección de excavación durante los primeros días. Pasado un tiempo, para evitar colapsos y derrumbes que comprometan la seguridad, este soporte debe complementarse y tener calidad de soporte permanente.
3. Se recomienda usar una capa preventiva de shotcrete de 2" de espesor lanzado + malla electrosoldada con pernos Split set espaciados a 0.7 metros o pernos hydrabolts espaciados a 1.0 metros en rocas cajas de calidad Mala como Marga gris en labores temporales.
4. No ingresar a labores subterráneas de desarrollo y/o avance que no presentan el tipo de sostenimiento adecuado recomendado por el área de geomecánica.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

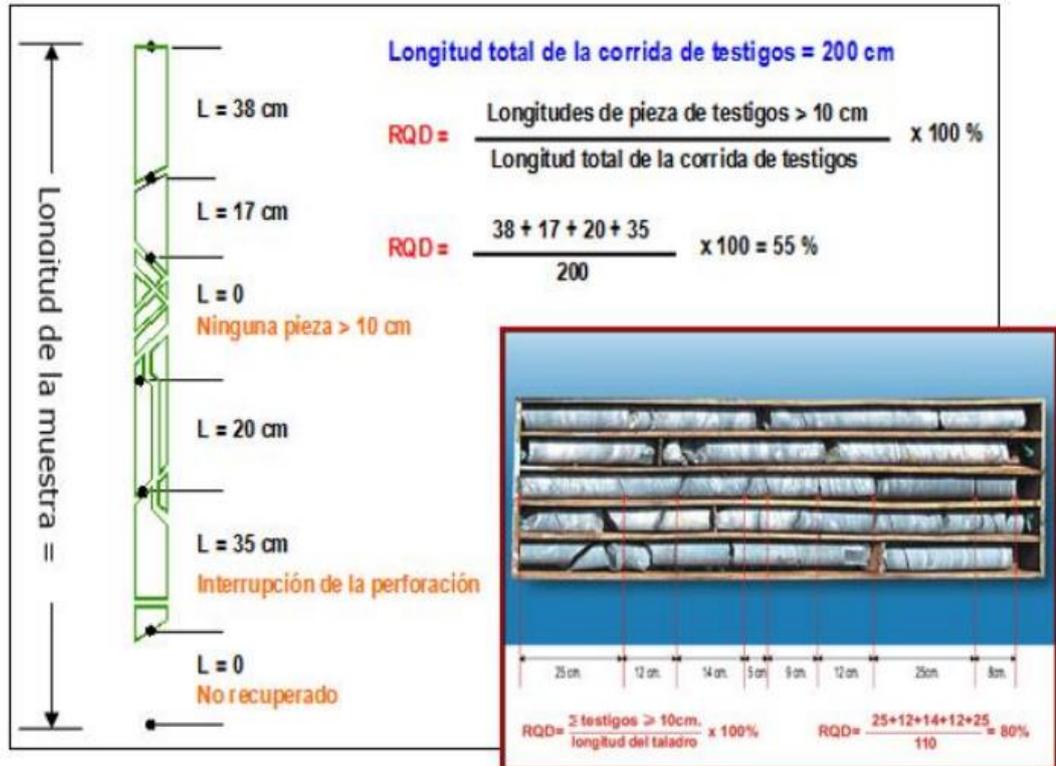
1. Córdova Rojas, David; (2005). “Informe del asesoramiento geomecánico mina Iscaycruz” Perú 23p.
2. Córdova Rojas, David; (2001). “Curso mecánica de rocas en minería y obras civiles”. Lima - Perú 23p.
3. Doyle, James F; (2004). “Modern experimental stress analysis: completing the solution of partially specified problems”. Oxford 438p. 2º Edición.
4. Exsa; (1986). “Manual de perforación y voladura de rocas”.
5. Gertsh, Richard E. ed.; (1998). “Techniques in underground mining: Selections from underground mining method handbook”.
6. Gonzáles De Vallejo, Luis; (2002). “Ingeniería geológica”. Madrid 744p.
7. Hartman, Howard L. ed.; (1992). “SME Mining Engineering Handbook” Littleton.
8. Hernández Sampieri, Roberto; (2006). “Metodología de la investigación” cuarta edición. Mg Graw Hill.
9. López Jimeno, Carlos; (1994). “Manual de perforación y voladura de rocas”.
10. Tafur Portilla, Raúl; (1995). “La tesis universitaria, doctoral – Maestría, el informe – La monografía”. Editorial Mantaro – Lima.
11. Dcringenieros s.r. Ltda. Geomecánica en minería y obras civiles; (2018). “ Informe Evaluación Geomecánica del Minado Subterráneo de Unidad Minera Animón”
12. Simeón Elías Quiñones Contreras; (2013). “Tesis universitaria - Construcción del túnel Animón, costos operativos y gestión de la seguridad y del ambiente en la empresa administradora Chungar”.
13. Oscar Junior Loarte Trujillo; (2018). “Tesis universitaria - Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera toma la mano – Cormitoma S.A”.

14. Xiomara Olenka Palomino Pacheco (2019) "Tesis universitaria – Selección y análisis del método de explotación para el minado del Manto Anita en la U.M Islay – Volcan Compañía Minera S.A.A."
15. Olguin Pierola Torres "Título universitario - Evaluación integral del sistema de ventilación, modelamiento y diseño mediante el uso del software Ventsim visual avanzado en la U.M. Animón Cia. minera Chungar".

ANEXOS

ANEXO 01: Instrumentos de recolección de datos

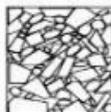
CLASIFICACIONES GEOMECÁNICOS



Procedimiento de medición y cálculo del RQD (Deere, 1989).

Parámetros de Clasificación RMR ₈₉ con sus Valores								
Parámetros		Rango de valores						
Resistencia de la roca Intacta	Índice de Resistencia de Carga Puntual (Mpa)	< 10	4-10	2- 4	1-2	Para estos rangos es recomendable ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.		
	Resistencia a la compresión Uniaxial (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5 – 25	1-5	<1
Ratings		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
Ratings		20	17	13	8	3		
Espaciado de las discontinuidades (m)		> 2	0.60 – 2	0.20 – 0.60	0.06-0.20	< 0.06		
Ratings		20	15	10	8	5		
Condiciones de las Discontinuidades		Superficies muy rugosas sin continuidad cerradas. Paredes de roca sin alteración.	Superficies rugosas con separación < 1 mm. Paredes de Roca ligeramente meteorizadas.	Superficies ligeramente rugosas con separación < 1 mm. Paredes altamente meteorizadas.	Superficies pulidas o relleno < 5mm de espesura o separación 1-5 mm continuas.	Relleno blando < 5mm de espesor Separación < 5mm Continuas		
Ratings		30	25	20	10	0		
Agua Subterránea	Flujo por cada 10 m de longitud del túnel (l/min)	N	< 10	10 -25	25 – 125	>125		
	Presión de agua en la diaclasa/Tensión principal mayor	0	< 0,1	0,1 -0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
	Condiciones General	completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo		
Ratings		15	10	7	4	0		

Clasificación geomecánica del RMR₈₉

INDICE GEOLOGICO DE RESISTENCIA		CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	
<p>De los códigos de letra que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades (en Tabla 4), seleccione el cuadro apropiado en esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia, GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor, por ejemplo 38.</p>		<p>MUY BUENA Superficies rugosas y de cajas freccas (sin señales de intemperización ni de alteración)</p> <p>BUENA Superficies rugosas, cajas levemente intemperizadas y/o alteradas, con películas de óxido de hierro</p> <p>REGULAR Superficies lisas, cajas moderadamente intemperizadas y/o alteradas</p> <p>MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas intemperizadas y/o alteradas, con rellenos de fragmentos granulares y/o arcillosos firmes</p> <p>MUY MALA Superficies lisas y cizalladas, cajas muy intemperizadas y/o alteradas, con rellenos arcillosos blandos</p>	
ESTRUCTURA DEL MACIZO ROCOSO		EMPEORA LA CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES 	
FRAGMENTACION DEL MACIZO ROCOSO		DISMINUYE LA TRABAZON DE LOS BLOQUES DE ROCA 	
	<p>FRACTURADO EN BLOQUES (BLOCKY) MACIZO ROCOSO CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA BIEN TRABADOS, DE FORMA CÚBICA Y DEFINIDOS POR TRES SETS DE ESTRUCTURAS, ORTOGONALES ENTRE SÍ.</p>	80	70
	<p>FUERTEMENTE FRACTURADO EN BLOQUES (VERY BLOCKY) MACIZO ROCOSO ALGO PERTURBADO, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA TRABADOS, DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR CUATRO O MAS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	60	50
	<p>FRACTURADO Y PERTURBADO (BLOCKY / DISTURBED) MACIZO ROCOSO PLEGADO Y/O AFECTADO POR FALLAS, CONFORMADO POR TROZOS O BLOQUES DE ROCA DE VARIAS CARAS, ANGULOSOS Y DEFINIDOS POR LA INTERSECCION DE NUMEROSOS SETS DE ESTRUCTURAS.</p>	40	30
	<p>DESINTEGRADO (DISINTEGRATED) MACIZO ROCOSO MUY FRACTURADO Y QUEBRADO, CONFORMADO POR UN CONJUNTO PORREMENTE TRABADO DE BLOQUES Y TROZOS DE ROCA, ANGULOSOS Y TAMBIÉN REDONDEADOS</p>	20	10

Clasificación geomecánica de GSI basado en descripciones geológicas.

ANEXO 02: Validación de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO DE INVESTIGACIÓN:

“ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA EXPLOTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO POR TALADROS LARGOS EN EL MANTO ANITA, MINA ISLAY”

INVESTIGADOR: Jesús Edwin Valle Cajaleón

0= Deficiente 1=Regular 2=Buena

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. CLARIDAD	Esta formulado en lenguaje apropiado	2									
2. OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observadas		2								
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología			2							
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				2						
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					2					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio						2				
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos- científicos							1			
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones								2		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico									2	
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado										2
TOTALES											

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR: Mg. SANCHEZ CHOUARRIJA DANIEL ARMANDO

TÍTULO PROFESIONAL/GRADO ACADÉMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN : INGENIERO GEÓLOGO

CARGO U OCUPACIÓN: DOCENTE "JUG GEOLÓGIA"

Cerro de Pasco, 15 de julio del 2023

PUNTAJE TOTAL= TOTALES/19


 FIRMA SANCHEZ CHOUARRIJA DANIEL
 DNI N° 19918541 DANIEL

LEYENDA: 00 - 05	DEFICIENTE	()
05 - 10	REGULAR	()
11 - 15	BUENO	()
16 - 20	MUY BUENO	(X)



FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y Nombres del experto: *SANCHEZ CHAVARRIA DONIC ARMANDO*
- 1.2. Grado académico: Magister
- 1.3. Cargo e institución donde labora: *DOCENTE ING: "GEOLOGÍA"*
- 1.4. Título de investigación: "Análisis geomecánico para la determinación del tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método por taladros largos en el Manto Anita, Mina Islay"
- 1.5. Autor del instrumento: Jesús Edwin Valle Cajaleón
- 1.6. Nombre del análisis geomecánico:
 - Análisis de RQD
 - Análisis del índice Q de la ley de Barton
 - Análisis promedio de RMR₉₉

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:

La evaluación consiste en marcar y valor cada indicador según la escala que se indica:

INDICADORES	CRITERIOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy bueno 61-80%	Excelente 81-100%
CLARIDAD	Esta formulado en lenguaje apropiado				X	
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observadas					X
ACTUALIDAD	Acorde al avance de la ciencia y tecnología				X	
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica				X	
SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad					X
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio				X	
CONSISTENCIA	Basado en aspectos teóricos-científicos y del tema de estudio				X	
COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables					X
METODOLOGÍA	La estrategia responde al propósito del estudio				X	
CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías				X	
PROMEDIO DE VALIDACIÓN						
OPINIÓN DE APLICABILIDAD	Los instrumentos que se muestra en el presente investigación evidencia claramente los resultados del ensayo estático . Siendo estos datos acreditados por el laboratorio que lo analizo.					
Cerro de Pasco, 15 de Julio del 2023	<i>19918541</i>		<i>[Firma]</i>		<i>945599751</i>	
Lugar y fecha	DNI		Firma de experto		N° celular	

ANEXO 03: Matriz de consistencia

TÍTULO: “ANÁLISIS GEOMECÁNICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO EN LA EXPLOTACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO POR TALADROS LARGOS EN EL MANTO ANITA, MINA ISLAY”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	POBLACION Y MUESTRA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables independientes	Población
¿El análisis geomecánico determinará el tipo de sostenimiento adecuado a utilizar en la zona de estudio para la explotación por taladros largos en el manto Anita, Mina Islay?	Dar a conocer el tipo de sostenimiento adecuado a utilizar mediante la aplicación de la geomecánica durante la explotación por el método de taladros largos en las operaciones del manto Anita, Mina Islay.	Que, con el análisis geomecánico del macizo rocoso se determinara el tipo de sostenimiento en la explotación mediante el método de taladros largos en el Manto Anita, U.M. Islay, garantizando una producción constante con altos índices de calidad y seguridad.	Caracterización geomecánica	La población estará representada por los tipos de rocas y estructura mineralizada que conforma la U.M. Islay, identificados en cartografiados geológicos en labores de preparación, desarrollo, producción, exploración y perforación diamantina.
Problemas específicos.	Objetivos específicos	Hipótesis específicas.	Variables dependientes	Muestra
<ul style="list-style-type: none"> - ¿La competitividad del macizo rocoso será determinante para utilizar el método de explotación por taladros largos? - ¿Qué tan beneficioso es la aplicación del método de explotación con taladros largos en el manto Anita, Mina Islay? 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar en qué dimensión un análisis geomecánico acertado en la zona de estudio nos ayudara a mejorar variables técnicas y operativas en la explotación por el método de taladros largos. - Evaluar si las especificaciones geomecánicas utilizadas en las zonas de estudio son las adecuadas para tomar decisiones acertadas durante la explotación del manto Anita y no retrasar el ciclo de minado. 	<ul style="list-style-type: none"> - La caracterización geomecánica adecuada en la zona de estudio contribuye efectivamente a la explotación del Manto Anita por el método de taladros largos en la U.M. Islay. - Las clasificaciones geomecánicas utilizadas en el presente estudio nos ayudaran a determinar el tipo de sostenimiento adecuado en la explotación del Manto Anita por el método de taladros largos en la U.M. Islay. 	Tipo de sostenimiento	Para el estudio en particular será asociada la masa rocosa y zona de mineralización circundante en los laboreos del método de minado con taladros largos en el Manto Anita, U.M. Islay.

ANEXO 04: PROCEDIMIENTO DE VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD

PROCESAMIENTO DE DATOS

ESTACIÓN	NIVEL	COORDENADAS		
		ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
E1	Nv. 4335	340372.296	8782037.370	4425.485
E2	Nv. 4310	340394.455	8782023.480	4307.526
E3	Nv. 4290	340378.580	8781990.076	4288.687
E4	Nv. 4280	340400.408	8781980.485	4278.584
E5	Nv. 4270	340414.960	8781953.034	4267.458

Toma de coordenadas en las estaciones evaluadas – Estación total

LITOLOGÍA	Nivel 4335	Nivel 4310	Nivel 4290	Nivel 4280	Nivel 4270	Total
Marga gris	1	1	1	1	1	5
Marga roja	1	1	1	1	1	5
Conglomerados	1	1	1	1	1	5
Areniscas	1	1	1	1	1	5
Estructura mineralizada	0	0	1	0	0	1
Total - Nivel	4	4	5	4	4	21

Distribución de análisis geomecánico en estaciones por litología y niveles

LITOLOGÍA	CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA				CALIDAD DE MACIZO ROCOSO
	RQD	Q	RMR ₈₉	GSI (RMR ₈₉ - 5)	
Mara Gris	19.96	0.072	28	23	Mala
Marga Roja	33.16	2.953	40	35	Mala
Arenisca	53.62	9.578	55	50	Regular
Conglomerado	61.54	29.042	66	61	Buena
Estructura mineralizada	<25	3.333	30	25	Mala

Determinación de la calidad del macizo rocoso y mineral