

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



TESIS:

Análisis Geomecánico en la ejecución del Raise Borer 19
Mina Islay

Para optar el Título Profesional de:

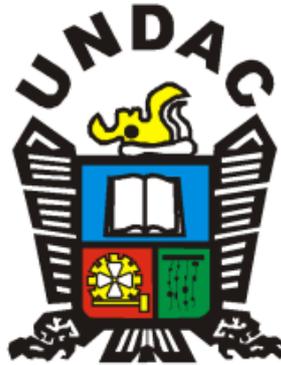
Ingeniero Geólogo

Autor : Bach. Junior jairzinho QUINTO ROBLES

Asesor : Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI

Cerro de Pasco - Perú - 2019

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



TESIS:

Análisis Geomecánico en la ejecución del raise borer 19
Mina Islay

Sustentada y aprobada ante los miembros del Jurado:

Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO
PRESIDENTE

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN
MIEMBRO

Mg. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO
MIEMBRO

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres Martha y Pablo por su invaluable y perseverante apoyo a mi carrera profesional, a mis hermanos Franz, Judith, Beatriz, Yaquelyn y Naysha, a mi esposa Mirtha y a mis hijos: Job, Adriano y Yamile por su comprensión y paciencia sin ellos no hubiera podido haber completado el informe de suficiencia.

RECONOCIMIENTO

Es preciso y oportuno dar mis sinceros agradecimientos a Minera ISLAY por permitirme realizar este proyecto de suficiencia para poder optar el título de profesional de Ingeniero Geólogo.

Finalmente quedo agradecido a los catedráticos de mi alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

RESUMEN

El proyecto se realizó en la Unidad Minera Islay, se requiere ejecutar un desarrollo vertical del nivel 270 a superficie, con una longitud vertical de 320,99 metros. La excavación se realizará con métodos mecanizados mediante el uso del Raise borer. Se analiza el método para ejecutar desarrollos verticales con los índices geomecánicos y se determina cuales se pueden emplear y controlar la inestabilidad de la zona donde se ejecutará el desarrollo vertical.

El proyecto se realizó para integrar los procesos de operación e incrementar los recursos minerales, se toman como referencia los estudios de la Empresa Administradora Chungar, se considera la información recopilada en la mina, la geomorfología, la toma de datos de las estructuras geológicas del macizo rocoso.

La evaluación geomecánica determina la calidad de las estructuras mineralizadas, de las rocas encajonantes y del macizo rocoso dentro de un rango de buena a excepcionalmente mala y en muchos casos muy mala.

Palabras clave; Análisis geomecánico y ejecución raise borer

ABSTRACT

The project was carried out in the Islay Mining Unit, it is necessary to execute a vertical development from level 270 to surface, with a vertical length of 320.99 meters. The excavation will be carried out using mechanized methods through the use of the Raise borer. The method to execute vertical developments with the geomechanical indexes is analyzed and it is determined which ones can be used and control the instability of the area where the vertical development will be executed.

The project was carried out to integrate the operation processes and increase the mineral resources, the studies of the Chungar Management Company are taken as reference, the information collected in the mine, the geomorphology, the data collection of the geological structures of the massif are considered rocky.

The geomechanical evaluation determines the quality of mineralized structures, encasing rocks and the rock mass within a range of good to exceptionally bad and in many cases very bad.

Keywords; Geomechanical analysis and raise borer execution.

INTRODUCCIÓN

Para construir una chimenea es importantes la información geomecánica, relacionado a las características del comportamiento mecánico del macizo rocoso y sus componentes, con la finalidad de determinar las propiedades físicas mecánicas de las rocas.

El planeamiento de minado considera la construcción y/o ejecución de labores mineras subterráneas y superficiales, para lograrlo es necesario, la cuantificación de las características geomecánicas del macizo rocoso, teniendo una justificación técnico- económica para una explotación racional, segura y rentable.

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 30°C en el día; con una temperatura ambiente medio de 8°C . Las condiciones climáticas y de la roca suponía que las condiciones de explotación sería 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, el sostenimiento de rocas es parte fundamental de una explotación subterránea.

El presente estudio está orientado a realizar un análisis de la geomecánica para determinar la estabilidad de una chimenea y determinar la calidad del macizo rocoso.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del Problema	01
1.2 Delimitación de la Investigación	02
1.3 Formulación del Problema	02
1.3.1 Problema principal	02
1.3.2 Problema específico	02
1.4 Formulación de Objetivos	03
1.4.1 Objetivo General	03
1.4.2 Objetivos Específicos	03
1.5 Justificación de la Investigación	03
1.6 Limitaciones de la investigación	03

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio	04
2.2 Bases Teóricas – Científicas	04
2.3 Definición de Términos básicos	39
2.4 Formulación de Hipótesis	43
2.4.1 Hipótesis General	43
2.4.2 Hipótesis específica	43
2.5 Identificación de las Variables	44
2.5.1 Variables Independientes	44

2.5.2 Variables Dependientes	44
2.5.3 Variables Intervinientes	44
2.6 Definición Operacional de variables e indicadores	45

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación	46
3.2 Métodos de investigación	46
3.3 Diseño de investigación	47
3.4 Población y muestra	47
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.6 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	47
3.7 Tratamiento estadístico	47
3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	48
3.9 Orientación ética	48

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de Trabajo de Campo	49
4.1.1 Ubicación	49
4.1.2 Accesibilidad	49
4.1.3 Reseña Histórica	51
4.1.4 Fisiografía	52
4.1.5 Geomorfología	54
4.1.6 Drenaje	60
4.1.7 Clima	60
4.1.8 Flora y Fauna	62
4.1.9 Recursos naturales	62

4.1.10 Geología Regional	62
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados.	85
4.2.1 Geología local.	85
4.2.2 Estratigrafía	85
4.2.3 Rocas Intrusivas (Oligoceno)	94
4.3 Prueba de Hipótesis	97
4.3.1 Mineralización	97
4.4 Discusión de resultados	109
4.4.1 Análisis geomecánico en la zona del proyecto	109

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Se requiere ejecutar el raise borer 19 del nivel 270 a superficie, con una longitud vertical de 320,99 metros. El macizo rocoso en su estado natural se encuentra muy fracturado, y los índices geomecánicos, identifican condiciones poco estables durante la excavación.

En Islay la roca es muy incompetente, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de muy mala calidad, donde hacen que nuestra principal preocupación sea el riesgo de caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud.

En las labores subterráneas, el espaciado de las fracturas es entre 0.05 a 0.30m, las familias de discontinuidades es de 5, la resistencia es menor a 15MPa en las cajas y menor de 60 MPa en el mineral, la alteración es intensa en las cajas y moderado en el mineral, el relleno de fisuras es por arcillas y limpia, las aguas subterráneas es por goteo en las cajas y flujos en la estructura mineralizada; para el control y su

estabilización usamos una capa de 2" de concreto lanzado (Shotcrete) como elemento preventivo de sostenimiento y como sostenimiento definitivo a los pernos compresión y fricción axial de 7 pies (Hydrabolt) para mantener confinado el macizo rocoso.

Se tiene mucho cuidado de examinar y definir las aberturas máximas, los tiempos de auto-soporte, y determinar el distanciamiento entre perno y perno; esto nos ha permitido llevar las excavaciones en las labores a sección completa de hasta 20.0m de ancho por 5.50m de altura, permitiendo el incremento de la producción sin descuidar la seguridad. Por lo tanto, es importante analizar las características del macizo rocoso donde se va a ejecutar el raiser borer 19.

1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se realiza por la importancia de contribuir a una explotación minera con una seguridad sin pérdidas humanas y económicas, lográndose con ello una continua operación minera y que pueda servir como antecedente en futuras ejecuciones de chimeneas empleando el método del Raise Borer, además constituye una herramienta fundamental en los procesos de educación e investigación para los alumnos de la facultad de ingeniería geológica.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿El análisis geomecánico determinara la ejecución óptima del Raiser

Borer 19 en la Mina Islay?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Qué características geológicas tienen los tipos macizos rocosos?
- ¿Cuál es la calidad del macizo rocoso?

1.4. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la ejecución óptima del Raise Borer, de acuerdo al análisis geomecánico en la Mina Islay.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las características geológicas de los tipos de macizos rocosos.
- Evaluar con las clasificaciones geomecánicas la calidad del macizo rocoso.

1.5 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de tesis se justifica para brindar un mejoramiento en el ciclo operativo de la excavación en la ejecución del Raise Borer por tener un mejor conocimiento del macizo rocoso y proporcionar una mayor la seguridad minera al personal.

1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Como todo estudio geológico - geomecánico, el presente trabajo solo está limitado a la zona de estudio y los resultados solo serán aplicados a la zona de estudio.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Como antecedente tenemos la tesis del 2013, Construcción de chimeneas raise borer para optimizar el proceso de minado y los costos de explotación en el tajo 355 de reina leticia en compañía minera Raura S.A. realizado por R. Baldeon R. de la UNCP, donde proporciona lineamientos de la ejecución de una chimenea con el método del Raise Borer.

2.2. BASES TEÓRICOS – CIENTÍFICAS

Aplicaciones de la Geomecánica

Minería: Labores subterráneas de acceso, operaciones y auxiliares

Ingeniería subterránea: Túneles.

Para el cual, se requiere de la utilización de los principios, metodologías de la mecánica de rocas, para un adecuado diseño y ejecución de obras o proyectos.

Criterios de Evaluación Geomecánica

Factores que controlan la estabilidad de bloques rocosos

Cuando las discontinuidades geológicas son las que determinan el comportamiento mecánico de la masa rocosa, y están ubicadas relativamente a pocas profundidades, el tipo más común de inestabilidad es producida por caídas y deslizamientos de bloques rocosos alrededor de las aberturas, como consecuencia de la fuerza gravitatoria. En estas condiciones, los parámetros que controlan la estabilidad del bloque rocoso serían:

- Parámetros Geométricos. Tamaño, forma, y ubicación del bloque rocoso
- Parámetros de resistencia al corte. Se refiere en los planos de discontinuidad que forman la cuña rocosa.
- Esfuerzos insitu opcional, especialmente cuando se trata a mayores profundidades o se encuentran en zonas con altos esfuerzos horizontales.

Características de las discontinuidades geológicas.

Las discontinuidades geológicas se presentan en la naturaleza en forma sistemática, es decir, formando familias o sistemas con orientaciones más o menos homogéneas. Los resultados de sus caracterizaciones se determinan y analizan mediante métodos estadísticos.

Se mencionan las siguientes características:

Características Geométricas

- Orientación
- Espaciado
- Persistencia o continuidad
- Número de familias
- Características de resistencia al corte
- Rugosidad,
- Abertura
- Relleno
- Intemperismo
- Flujo de agua.

Interacción característica de las discontinuidades y las aberturas subterráneas

a) Tamaño y grado de fracturas (RQD)

Es el resultado de la interacción de la continuidad, el espaciado promedio y el número de familias de las discontinuidades.

b) Forma de bloques rocosos

Es el resultado de la interacción del espaciado promedio con la orientación media de cada familia de discontinuidad.

c) Estabilidad de las excavaciones

Lo definen la orientación media de las discontinuidades con respecto a la orientación y tamaño de las superficies de las excavaciones, las características de resistencia al corte y deformabilidad de los planos de discontinuidades.

Clasificación de bloques rocosos.

a) Bloques Infinitos

Son bloques muy grandes, imposibles de moverse hacia el espacio vacío, no dan lugar a ningún tipo de inestabilidad.

b) Bloques finitos

Formado por la intersección de discontinuidades originan bloques discretos.

Pueden ser a su vez: No movible o cónicos y móviles.

Clasificación de los bloques móviles: Esta a su vez pueden ser:

c) Estables sin resistencia al corte

Tienen ubicación y orientación favorable con respecto a la fuerza resultante, de manera que tiende a permanecer estable aún sin fricción ni cohesión en sus planos de discontinuidades.

d) Estables con suficiente resistencia al corte

Es definido como un bloque potencialmente inestable, es decir tiene tendencia de moverse hacia la cara de la excavación, pueden ser estables a menos que la resistencia al corte en el plano de discontinuidades de deslizamiento sea más pequeña que la fuerza que tiende a deslizarla. Sin embargo, son considerados bloques potencialmente inestables o claves (Key block).

e) Estable solo con refuerzo artificial (Key block)

Típico; No solamente es movible, sino que su posición y orientación es insegura, es posible a deslizarse a menos que se pueda colocar algún sistema de sostenimiento o refuerzo del bloque.

Metodología de Análisis de Movimientos de Bloques

En el minado subterráneo sobre minerales y rocas competentes y fracturadas, ubicadas a bajas profundidades, el tipo más común de fallas son aquellos que

involucran las caídas y deslizamientos de bloques del techo como de las paredes de las aberturas por efecto de la gravedad y la pérdida o rotura del empalme de estos bloques a lo largo de los planos de las discontinuidades.

Si estos bloques sueltos no son reforzados oportunamente la estabilidad de las aberturas puede deteriorarse rápidamente. Cada bloque que se desprende o desliza, reducirá la capacidad de embone de la masa rocosa, induciendo a los bloques contiguos a fallar. Este proceso puede continuar produciendo el desmoronamiento de la abertura hasta la formación de un arco natural en el techo o su colapso total.

Las diferentes etapas que son necesarias para el análisis de este problema son:

- Determinación de la orientación promedio de las familias de discontinuidades más significativas.
- Identificación de los bloques potencialmente inestables, que pueden caerse o deslizarse del techo o paredes de la abertura. (Clasificación de bloques).
- Cálculo del factor de seguridad de los bloques según el modo de falla.
- Diseño del tipo de sostenimiento requerido, que brinde un factor de seguridad aceptable individual para cada bloque.

Orientación de las discontinuidades

Los bloques o cuñas rocosas son formados por las intersecciones de los planos de las diferentes familias de discontinuidades, tales como planos de estratificación, fracturas, etc.

Para el análisis de la orientación y determinación del número de familias de discontinuidades geológicas se utiliza el software DIPS-

El DIPS permite al usuario, analizar y visualizar los datos geológicos estructurales, siguiendo las mismas técnicas usadas en el procedimiento estereográfico manual, como el contorno estadístico de agrupamiento de orientación de polos, determinación de la orientación media, el número de familias y las características adicionales de la calidad, cantidad y velocidad que le atribuye al método de análisis.

Identificación de bloques móviles

Únicamente los bloques móviles, son los que ameritan un análisis de estabilidad- Para comprender mejor la naturaleza de los bloques potencialmente inestables, es necesario tener en cuenta las siguientes diferencias de los tipos de bloques:

- Bloques de Discontinuidades (Joint block). -

Se forman en su totalidad por la intersección de los planos de discontinuidades de cada familia. No se exponen ni son visibles en la superficie de la excavación, se ubican detrás de ellas o en el interior de la masa rocosa.

- Bloques claves (Key block). -

Se forman por las intersecciones de los planos de las discontinuidades de cada familia, y el plano de la superficie de la excavación, están visibles alrededor de la abertura subterránea.

Para identificar los bloques móviles y definir su posibilidad de movimiento, se sigue las siguientes recomendaciones:

Sobre la base de libertad de movimiento, posición y dirección de la fuerza resultante, sin considerar los parámetros de resistencia al corte de los planos de

discontinuidades, se identifica los bloques estables y los bloques potencialmente inestables.

Considerando, los parámetros de resistencia al corte (Q), y cohesión (c), de los planos de discontinuidades, comparando y evaluando las fuerzas que tienden a estabilizar y desestabilizar el bloque rocosos por el método de "Equilibrio Límite", identificamos los bloques potencialmente inestables, y los bloques claves.

El tamaño y la forma de un bloque

Potencialmente inestable (Key block), depende por un lado del tamaño, forma y orientación de las aberturas, y por otro lado de las orientaciones de las familias de discontinuidades más significativas.

Determinación del Factor de Seguridad

El máximo número de bloques tetraédricos simples que pueden originarse por la intersección de tres planos de discontinuidades y la superficie de la abertura en un túnel de forma circular es de seis, para un túnel cuadrado o rectangular es de cuatro, para uno de forma de bóveda en el techo permite la formación de una cuña adicional dando un total de cinco, que siendo este pequeño podemos ignorarlo en los cálculos.

El bloque rocoso que se ubica en el techo, por su forma y posición, tiende a desprenderse como consecuencia de la carga gravitatoria, y que al liberarse de los planos de discontinuidad su factor de seguridad se considera cero. En algunos casos, en el techo pueden existir bloques que tienden a deslizarse a través de una cara o la línea de intersección de los planos de discontinuidades, en este caso el factor de seguridad tiene un cierto valor finito.

Por otro lado, los bloques que se forman en las paredes opuestas del túnel, son idénticas en su forma y en peso, y diferentes en su posición y factor de seguridad. El deslizamiento puede ocurrir sobre diferentes caras o líneas de intersección. Para el caso de los "key block" situados en el piso del túnel, estas son completamente estables y no requieren de ningún tipo de consideraciones.

Prevención de fallas de bloques rocosos mediante refuerzos o sostenimiento.

Un rasgo característico de la falla de bloques rocosos tanto del techo como de las paredes de la abertura, es que estos bloques pueden experimentar un pequeño movimiento de la masa rocosa antes de su desprendimiento.

En el caso de bloques del techo, la falla puede ocurrir tan pronto como la base de la cuña sea expuesta en la superficie de la abertura. Para bloques situados en las paredes, el deslizamiento de unos pocos milímetros a lo largo del plano o línea de deslizamiento, pueden ser suficientes para vencer la resistencia al corte pico de las discontinuidades, por lo que el sistema de soporte a utilizarse debe de contrarrestar rígidamente a este tipo movimiento.

La presión total que debe ejercer los elementos de soporte para mantener el bloque en el techo, es la fuerza que tiende a soportar el peso muerto del bloque (W), más un porcentaje (30 — 50%) por seguridad o deficiencias que se pudieran haber cometido en la instalación. La tensión total que se aplica al perno o cable sería:

Fuerza total = $(1,3 \text{ a } 1,5) W$

El valor del factor de seguridad más bajo de 1,3 puede darse para aberturas subterráneas temporales, mientras que el factor de seguridad más alto de 1,5; para aberturas permanentes. Cuando el centro de gravedad del bloque es

claramente identificado, los elementos de soporte se pueden distribuir alrededor de este centro, de manera que se evita cualquier indicio de rotación y reduzca el factor de seguridad.

En la selección de la longitud de los pernos o cables de anclaje, deben de tenerse cuidado en elegir la longitud que atraviesa el bloque (L_w), y la longitud de anclaje detrás en la roca madre (L_r). Ambas deben de tener la longitud necesaria para asegurar un anclaje adecuado.

Para el caso de los bloques situados en las paredes de la abertura, los pernos deben colocarse de manera que se incrementa los esfuerzos normales en las superficies de las discontinuidades, incrementándose los esfuerzos de corte en las mismas.

Criterios de Evaluación de las Condiciones Geomecánica

Ante la carencia de tecnología para la obtención de parámetros geotécnicos en los macizos rocosos nacen dos sistemas de clasificación:

Sistema RMR de Bieniawski (1989).

Sistema Q de Barton (1974).

a) Clasificación de Barton

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:

$$Q = RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF \text{ Dónde:}$$

- RQD = Índice propuesto por Deere, explicado anteriormente.
- J_n = Número de familias de discontinuidades.
- J_r = Factor de rugosidad de las discontinuidades.
- J_a = Factor de alteración de las discontinuidades.
- J_w = Factor de reducción por contenido de agua en las discontinuidades.
- SRF = Factor de reducción por esfuerzos o tensiones.

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

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.

El factor J_w/SRF consiste de dos parámetros de tensiones. El SRF es una medida de:

- La pérdida de carga en el caso de excavaciones en zonas de fallas y rocas con fracturas rellenas con arcilla.
- Tensiones en caso de roca competente.
- Carga que produce deformación en rocas plásticas incompetentes.
- 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.

Analizando las tablas de esta clasificación los autores no presentan corrección por la orientación de las discontinuidades, debido a que consideran que los tres factores que mencionamos, juegan un rol general más importante que el de la orientación de las discontinuidades.

Para la evaluación de los requerimientos de soporte de excavaciones, la Clasificación del NGI contempla un factor adicional denominado por los autores:

Dimensión Equivalente (De)

Este se obtiene de la relación entre la luz de la excavación (diámetro o altura) y un factor de utilización de las mismas, denominado ESR (Excavation Support Ratio).

Así:

$$De = \text{Span (altura o diámetro)} / \text{ESR}$$

El factor ESR varía entre 5 para minas de abertura temporales y 0.8 para plantas nucleares subterráneas, estaciones ferroviarias subterráneas, fábricas, etc.

La relación entre Q y De determina una recta (estrictamente una familia de rectas para cada ESR) que separa excavaciones que requieren soportes de las que no lo requieren. Los actuales límites para excavaciones sin soportes (permanentes) pueden expresarse por la siguiente ecuación:

$$\text{Span} = 2 \text{ ESR} \cdot Q^{0.4}$$

El detalle de los parámetros de esta clasificación, así como las 38 categorías de soporte recomendadas se muestra en las tablas Geomecánicas diseñadas por

Barton, que son referencias bibliográficas para nuestra toma de decisiones del sostenimiento.

Clasificación de Barton — Índice de Calidad de la roca.

Índice de Calidad de roca	RQD	Observaciones
A.- Muy mala	0 - 25	1. Cuando RQD \leq 10, incluyendo cero; se puede utilizar el valor 10 para RQD. 2. Intervalos de 5 para RQD, o sea 100, 95, 90 son precisos.
B.- Mala	25 - 50	
C.- Regular	50 - 75	
D.- Bueno	75 — 90	
E.- Excelente	90 - 100	

Fuente: Texto Hoek and Brown.

Clasificación de Barton — Número de Familias de Juntas

Número de Familias	Jn	Observaciones
A. Masivo, sin o con pocas juntas.	0,5 - 1	1. Para cruces en túneles utilizar (3 x Jn). Para portales utilizar (2)
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. Terrones de azúcar.	15	
I. Roca triturada terrosa.	20	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Clasificación de Barton — Rugosidad de Juntas

Numero de rugosidad de las Juntas	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 de juntas es mayor de 3 m. Puede usar para juntas de fricción planas y que tengan alineaciones orientadas para resistencia mínima.
A. Juntas discontinuas.	4,0	
B. Junta rugosa o irregular ondulada-	3,0	
C. Suave ondulada		
D. Espejo de falla, ondulada.	1 ,5	
E. Rugosa o irregular plana.		
F. Suave plana.		

G. Espejo de falla o superficie de fricción plana.	
- 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.	
I. Zona arenosa de grava o roca triturada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Clasificación de Barton — Alteración de Juntas.

Numero de alteración de las juntas	Ja	(aprox.)	Observación
- Contacto entre las dos caras de la junta.			1. Los valores de grado del ángulo de Fricción residual, se indican como guía aproximada de las propiedades mineralógicas los productos de la alteración si es que están presentes.
A. Junta sellada, dura, sin reblandamiento relleno impermeable, ej. Cuarzo.	0,75		
B. Caras de la junta únicamente manchadas.	1	250 - 350	
C. Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles, partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	250 — 300	
D. Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	— 250	
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 los mm.	4	o	
- 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	250 — 300	
Numero de alteración de las juntas	Ja	(aprox.)	Observación
G. Fuertemente consolidados, rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	6	160 — 240	
H. Sobre consolidación media a baja, reblandecimiento, relleno de mineral arcilloso. Los recubrimientos son continuos menores de 5 mm de espesor.	8		
I Relleno de arcillas expansivas ej. Montmorillonita, de espesor continuo de 5mm. El Valor Ja depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8 - 12		
No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta es			
J. Zonas o bandas de roca desintegrada o machacada y arcilla.			
K. Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla sin reblandamiento.			
L. Zonas o capas gruesas de arcilla.	13 - 20	60 — 240	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Clasificación de Barton — Factor de Reducción por Agua.

Factor de reducción por presencia de agua en las juntas			Observaciones
A. Excavaciones secas o de fluencia poco importante, menos de 5 min localmente.	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
Fluencia o presión media ocasional lavado de los rellenos de las juntas			
C. Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0,33	- 10	
D. Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas con la voladuras disminuyendo con el tiempo.	0,1 -0.2	> 10	
E. Fluencia o presión de agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución.	0,05 -	> 10	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Clasificación de Barton — Factor de Reducción por Esfuerzo.

Factor de Reducción de esfuerzos	S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)	Observaciones
Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques, según avanza la misma.		1. Redúzcanse estos valores SRF de 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	7,5	
Factor de Reducción de esfuerzos	S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)	Observaciones
Competente (libre de arcilla), roca suelta alrededor (cualquier profundidad).		
E. Solo una zona fractura en roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación menor de 50 m).	5	
F. Solo una zona fracturada roca competente (libre de arcilla), (profundidad de excavación mayor de 50 m).	2,5	
G. Juntas abiertas sueltas, muy fracturadas, etc. (cualquiera profundidad).	5	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Factor de Reducción de esfuerzos	C		S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)	Observaciones
Roca Competente, problemas de esfuerzos en roca.				2. Para un campo virgen de esfuerzos fuertemente anisotrópico, medidas: cuando $\frac{5}{03} > 1$ 10, reduzca: Reducir σ_c y σ_T cuando $\frac{01}{03} > 10$,
H. Esfuerzo bajo, cerca de la superficie.	>200	>13	2,5	

Esfuerzo medios.	200 - 10	13-0 66		redúzcase: Reducir oc y 0,20C
J. Esfuerzo grande, estructura muy cerrada (normalmente favorable para la estabilidad, Pueder ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales).	10 - 5	0,66 - 0,33	0,5-2 0	Resistencia Compresiva. OT = Esfuerzo
Factor de Reducción de esfuerzos	C		S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)	Observacione s
				a la tracción 01 = Esfuerzo Principal Mayor. 03 = Esfuerzo Principal Menor.
K. Desprendimiento moderado de roca masiva.	5-25	0,33 - 0,16	5-10	3. Hay los casos donde 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.
L. Desprendimiento o intenso de la roca masiva.	< 2,5		10 - 20	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Factor de Reducción de esfuerzos	S.R.F (Factor de Reducción de Tensiones)	OBSEVACIONES
Roca fluyente, plástico roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostáticas.		
M. Presión de flujo suave.	5- 10	
N. Presión de intenso.	10-20	
Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.		
O. Presión de expansión suave.	5- 10	
P. Presión de expansión suave.		

Fuente: Texto Hoek and Brown

b) Clasificación de Bieniawski O RMR (Rock Mass Rating)

Este sistema fue desarrollado por Z. T. Bieniawski en los años 70 siendo reformado en numerosas ocasiones y siendo la actual por el momento la de 1989 que coincide con la de 1979 en bastantes cosas, es un sistema empírico basado en más de 300 casos reales de túneles, galerías, minas, cavernas, cimentaciones y taludes, y usada extensamente por todo el mundo para el sostenimiento de estas construcciones.

Se basa en la suma de una serie de parámetros del terreno para evaluar su capacidad y por tanto el sostenimiento necesario, estos parámetros son los siguientes:

- Resistencia a la compresión simple de la roca inalterada.
- RQD (existe un sistema basado en este mismo parámetro).
- Espaciamiento discontinuidades (fisuras, diaclasas).
- Estado de las fisuras.
- Presencia de agua subterránea.
- Corrección por orientación de las discontinuidades
- Resistencia a la compresión simple de la roca.

Se realiza una serie de ensayos de la roca para averiguar su resistencia RQD (Rock Quality Designation). Se basa en el porcentaje de sondeo recuperado en el que la roca se encuentra relativamente intacta.

$$\text{RQD} = \frac{\text{Longitud de los núcleos mayores de 10 cm}}{\text{Largo del Barreno (cm)}} - 100$$

- Espaciamiento de las discontinuidades.

Se da una valoración del espaciamiento entre las diaclasas.

- Estado de las fisuras.

Este parámetro es fundamental se puede usar con la tabla general aunque para mayor precisión se recomienda la tabla Guía para valorar el estado de las discontinuidades

(Diaclasas)

- Presencia de agua.

El agua en las juntas (diaclasas, fisuras...) es un factor que genera una gran inestabilidad no solo por la presión hidrostática que puede ejercer sino también por las alteraciones que puede provocar en la junta (disolución, deslizamientos).

- Corrección por orientación de las discontinuidades.

En función de la orientación de nuestro túnel u obra respecto de las juntas, se puede acrecentar el riesgo de deslizamientos o por el contrario disminuirlo.

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) - \text{Correcciones}$$

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros definiéndose unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el índice de Calidad del RMR que varía entre 0 — 100.

Los objetivos de esta clasificación son:

- Determinar y/o Estimar la calidad del macizo rocoso.
- Dividir el macizo rocoso en grupos de conducta análoga.
- Proporcionar una buena base de entendimiento de las características del macizo rocoso.
- Facilitar la planificación y el diseño de estructuras en roca, proporcionando datos cuantitativos necesarios para la solución real de los problemas de ingeniería.

Identificación de los Parámetros para la Clasificación de las Rocas

Para la definición y puntuación de los parámetros que intervienen en identificación de la calidad del macizo rocoso, se clasifican las rocas en 5 categorías en cada categoría se estiman los valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso, a continuación, se definen y valoran cada uno de los factores que intervienen en la clasificación:

a) Resistencia de la roca intacta

Es decir, del material rocoso que no presenta discontinuidades estructurales. Los criterios que se utilizan para clasificar la resistencia de la roca intacta es la siguiente.

Clasificación de la Resistencia de la roca intacta.

DESCRIPCION	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (Kg/cm ²)	INDICE DE RESISTENCIA BAJO CARGA PUNTUAL (Kglcm ²)
Muy Resistente	> 2 000	> 80
Alta Resistencia	1 000 --- 2 000	40 80
Media Resistencia	500 --- 1 000	20 40
Baja Resistencia	250 500	10-20
Muy baja Resistencia	100 --- 250	10
	30 --- 100	
	10 --- 30	

Fuente: Texto Hoek and Brown

También se puede utilizar en laboratorios una prensa hidráulica en la que se introduce las probetas talladas, que deben cumplir unas especificaciones dadas.

La resistencia de un material rocoso no se debe confundir con su dureza, así, la resistencia no se puede determinar con las pruebas del martillo de geólogo y no con la navaja, aunque si se puede estimar.

El producto de la dureza por la densidad aparente, se puede utilizar para estimar la resistencia a compresión simple del material rocoso no se puede determinar con el esclerómetro o el martillo de Schmidt.

La resistencia a compresión simple del material rocoso sirve de medida indirecta de su grado de alteración o meteorización. La alteración no se considera en la clasificación de Bieniawski, ya que este parámetro está incluido en el de resistencia a compresión simple.

b) Calidad de la roca

La alteración no se considera en la calidad de la roca en los testigos de sondeos, en la clasificación de Bieniawski.

Se recomienda el uso del RQD también se puede utilizar el criterio de facturación, la relación que existe entre el RQD, y la frecuencia es: un RQD del 100 % se corresponde con una frecuencia de una fractura por cada 30 cm un RQD próximo a cero se corresponde con frecuencia de 5 a 6 fracturas por cada 30 cm

c) Espaciado de las juntas

Se ha comprobado que el espaciado tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de juntas, siendo el espaciado de las juntas el factor más influyente en esta disminución de resistencia.

A continuación, se presenta la clasificación de Deere del macizo rocoso, en lo referente al espaciado de las juntas, que es la que se recomienda utilizar en la clasificación de Bieniawski.

Clasificación de Deere — Espacio de Juntas.

DESCRIPCIÓN DEL ESPACIADO	ESPACIO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO
Muy ancho		Solido
Ancho	1--- 3 m	Masivo

Moderadamente cerrado	0,3 — 1m	En bloques
Cerrado	50 — 300 mm	Fracturado
Muy cerrado	< 50	Machacado

Fuente: Texto Hoek and Brown

d) Condición de las juntas

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Apertura.
- Tamaño.
- Rugosidad
- Dureza de los labios de la discontinuidad.
- Relleno

Todos estos parámetros fueron explicados ampliamente al hablar del modelo geológico ahora se van a tratar desde el punto de vista de la clasificación de los macizos rocosos.

E) Apertura

La apertura de las juntas es un criterio para la descripción cuantitativa de un macizo rocoso.

La clasificación de Bieniawski es la siguiente:

Clasificación de Bieniawski — Apertura de Juntas.

DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN
Abierta	> 5 mm
Moderadamente abierta	1 —5 mm
Cerrada	0,1 — 1 mm
Muy cerrada	< 0,1

Fuente: Texto Hoek and Brown

El tamaño de las juntas influye en la importancia que el material rocoso y la separación de las juntas tienen en el comportamiento del macizo rocoso.

F) Rugosidad

En esta clasificación se establecen 5 categorías de rugosidad: rugoso, ligeramente rugosa, suave, espejo de falla y relleno blando.

Dureza de los labios de la Discontinuidad.

Se consideran 3 categorías de dureza: dura, media, blanda.

Relleno

Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

Presencia de Agua

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. Se tendrá en cuenta el flujo de agua en el macizo rocoso. El criterio que se utilizará será el siguiente: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

Orientación de las discontinuidades.

A la hora de considerar los efectos de la orientación de las discontinuidades para la clasificación del macizo rocoso, con vistas a la construcción de un túnel, normalmente, es suficiente considerar si las orientaciones del rumbo y del

buzamiento son más o menos favorables con relación a la obra que se va realizar.

RUMBO PERPENDICULAR AL EJE				RUMBO PARALELO AL EJE DEL TÚNEL		Buzamiento ⁰ 0 - 20 (Independiente del rumbo)
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento				
45 - 90	20 - 45 ⁰	45 - 90 ⁰	20 - 45	45 - 90 ⁰	20 — 45	
Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable	Regular	Desfavorable

Fuente: Texto Hoek and Brown

Bieniawski ha propuesto la siguiente clasificación.

Clasificación de Bieniawski — Orientación de discontinuidades

Esta clasificación no es aplicable a rocas expansivas fluyentes.

En la tabla viene indicado los valores de los parámetros anteriores, así como los criterios utilizados para su valoración.

Parámetros de Clasificación y sus Valores

Fuente: Texto Hoek and Brown

Ajuste de Valores por las Orientaciones de las Juntas

PARÁMETROS	ESCALA							
Resistencia de la roca Intacta	Carga Puntual	80 kg./cn*	kg./cm2		kg./cm2	10 kg./cn*		
	Compresión Simple	2 000 kg./cm?	1 000-2 000	500- 1 000 kg./crm2	250 - 500 kg/lcm2	100 - 250 kg./cm2	30 - 100 kg./cm2*	10-30 kg./cm2
VALOR RQD.		15 - 100%	12	7	4	2	1	
VALOR		20	17	13	8	3		
espaciado de Juntas			1m-3m	0,3 m -1m	50 - 300	50 rrm		
VALOR		30	25	20	10	5		
Condición de Juntas		muy rugosas sin continuidad cerradas. paredes de roca dura.	Ligeramente rugosa < 1nm de separación. %redes de roca dura.	Ligeramente rugosa < 1mm de separación. paredes de roca suave.	Espejo de falla o relleno de espesor < 5n•rn o abiertos 1 5rnn Figuras Continuas.	Relleno blando de espesor < 5nm o abiertas < 5rrm figuras continuas.		
VALOR		25	20	12	6			
Aguas Subterráneas	Cant. Infiltración 10 m. de túnel	Ninguna		25 litros/min.	25 - 125 litros/min.	> 125 litros/min.		
	Presión de Agua —fuerzo Principal	Cero						
	Situación General	Totalmente seco		Solo húmedo agua interst.	Ligera presión de agua	Serios problemas de agua		
VALOR		10		7	4			

Orientación de rumbo y buzamiento de las fisuras		Muy Favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy Desfavorable
Valores	Túneles		-2		-10	-12
	Cimentaciones		-2	-5	-15	-25
	Taludes		-5	-25	-50	-60

Fuente: Texto Hoek and Brown

Determinación de la Clase del Macizo Rocosos

Clase Número					
Tiempo de Mantenimiento	10 años para 5m.	6 meses para 4 m.	1 semana para 3 m.	5 horas para 1.5 m.	10 minutos para 0.5 m.
Cohesión	-3 kg/cm ²	2-3 K	1.52 K	1-1.5 K	< 1 K
Angulo de fricción		400.450		300.350	
Valor total del RMR	81-100	61-80	41-60		
Clase Número					
Descripción	M Bueno	Bueno	Medio	Malo	M Malo

Fuente: Texto Hoek and Brown

Significado de las Clases de Macizos Rocosos

Dureza de las rocas

La resistencia a la compresión simple es el mejor indicador de la dureza de las rocas frente a su aptitud a la trituración. Esta resistencia puede

estimarse, sea directamente en el laboratorio, ensayando muestras provenientes de perforaciones con recuperación de núcleos, o indirectamente en el campo, a partir de muestras irregulares mediante el ensayo de carga puntual, o aún en el mismo macizo mediante la lectura de rebote del martillo Schmidt, o, finalmente, a partir de tablas de clasificación de dureza. Si esta dureza de la roca se grafica en mapas temáticos próximos a las localizaciones de los barrenos o sitios de muestreo, podrá definirse la distribución espacial de la dureza.

Grado de resistencia

En el siguiente cuadro se muestra diferentes fuentes para definir la calidad de la roca según su resistencia a la compresión simple.

Criterios de identificación de campo — Resistencia a la compresión simple de suelo y roca a partir de índices de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
s,	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	<0.025
s,	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,025-0,05
s	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05-0,1
	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	
s5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0.25-0,5

S	Arcilla muy dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	
0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25-1
	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo- Con una navaja se talla fácilmente	
	Roca blanda	Se talla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas	5.0-25
	Roca moderadamente dura	No puede tallarse con la navaja Puede fracturarse con un golpe fuerte del martillo	25-50
	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla.	50-100
	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes con el martillo <u>para</u> fracturarla	100-250
6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo sólo saltan esquirlas.	>250

Fuente: Texto Hoek and Brown

También existen otros criterios para la clasificación de las rocas a partir de su resistencia a la compresión simple, como se muestra en el siguiente cuadro Clasificación de las rocas a partir de su Resistencia a la Compresión Simple.

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM(1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
			Suelos	

1 - 5	Muy blanda Blanda	Blanda Moderadamente blanda		
12,5 - 25		Moderadamente		
25-50	Moderadamente dura			Esquisto, pàar:a
	Dura		Media	Rocas esquistosas , mármol. granito. gneis, arenisca. caliza porosa.
	MUY dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Muy baja	Cuarcita, grabo. basalto
> 250	Extremad. dura			

Fuente: Texto Hoek and Brown

Grado de alteración.

En los siguientes cuadros se consigna los términos establecidos por la Comisión on Engineering Geological Mapping (IAEG), para la identificación del grado de alteración.

Términos de descripción del Grado de Alteración.

Calidad	Término	Grado de cambio en (%)
A-1	Roca no alterada, fresca: sana	
A-2	Roca ligeramente alterada, decolorada	0- 10
A-3	Roca moderadamente alterada	10 -35
A-4	Roca muy alterada	35 -
A-5	Roca completamente alterada	mayor a 75%
A-6	Suelo	

Fuente: Texto Hoek and Brown

Términos de descripción del Grado de Dureza de la roca.

Calidad	Término
D-1	Muy Dura
D- 2	Dura
D-3	Medianamente dura
D-4	Ligeramente suave
D-5	Débil o suave

Fuente: Texto Hoek and Brown

Términos de descripción del Grado de Fractura de las rocas.

Calidad	Término
Fml	Menor A 1 fractura t _m (masiva)-
	2-5 fracturas l _m (poco fracturada)
	6-10 fracturas i _m (fracturada)
FA	11-20 fracturas l _m (Muy fracturada)
	Mayor a 20 fracturas l _m (fragmentada)

Fuente: Texto Hoek and Brown

Índice Geológico de Resistencia - GSI (1994)

Este sistema de clasificación fue propuesto por Hoek (1994).

Evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteraciones de discontinuidades.

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 determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir 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)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como, por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos de GSI. Se obtiene a continuación, una evaluación que se

relaciona con estas características geológicas y que corresponde al promedio entre los límites de las líneas de Ábaco que cruzan el cuadro relacionado a esa descripción, por ejemplo, a una descripción MF/MP, el valor del Índice GSI. Sería equivalente $(18 + 65 / 2) = 26$ ó para un F/R, el valor del Índice GSI. Sería $(46 + 65 / 2)$ o 55.5.

Índice G.S.I. (Geological Strength Index)

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 determinación del G.S.I., es el primer paso a seguir, definir 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)

Su aplicación permite obtener una clasificación geológica muy simple como, por ejemplo: fracturada, regular (F/R) o muy fracturada, muy pobre (MF/MP) y mediante la tabla de Ábacos de GSI. Se obtiene a continuación, una evaluación que se relaciona con estas características geológicas y que corresponde al promedio entre los límites de las líneas de Ábaco que cruzan el cuadro relacionado a esa descripción, por ejemplo, a una descripción MF/MP, el valor del Índice GSI. Sería equivalente $(18 + 65 / 2) = 26$ ó para un F/R, el valor del Índice GSI. Sería $(46 + 65 / 2)$ o 55.5.

Relación 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:

- Concreto lanzado (Shotcrete).
- Pernos de Compresión y fricción axial (Hydrabolt).
- Malla Electro-soldada.
- Cimbras metálicas Tipo H.
- Jack Pot.

El tiempo de auto-soporte mínimo, así como, la abertura máxima permisible sin soporte, está relacionado con el Índice Q según la siguiente relación:

1. Abertura máxima = $2(\text{ESR}) Q^{0.4}$
2. Valores de ESR, se muestra en el cuadro geomecánico.

En base a la relación de estas clasificaciones con la aplicación de los diferentes tipos de soporte y la equivalencia entre los valores del Índice Q, RMR y G.S.I., se realizó las tablas de aplicación de sostenimiento según el G.S.I., tanto para las labores permanentes y temporales como desarrollos y explotación.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

✓ **Accidente de Trabajo**

Todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. Según su gravedad, los accidentes de trabajo con lesiones personales pueden ser:

✓ **Accidente Leve:** Suceso cuya lesión, resultado de la evaluación médica, genera en el accidentado un descanso breve con retorno máximo al día siguiente a sus labores habituales.

✓ **Accidente Incapacitante:** suceso cuya lesión, resultado de la evaluación médica, da lugar a descanso, ausencia justificada al trabajo y tratamiento. El día de la ocurrencia de la lesión no se tomará en cuenta, para fines de información estadística. Según el grado de incapacidad los accidentes de trabajo pueden ser:

✓ **Total, Temporal:** cuando la lesión genera en el accidentado la imposibilidad de utilizar su organismo; da lugar a tratamiento médico al término del cual estará en capacidad de volver a las labores habituales plenamente recuperado.

✓ **Parcial Permanente:** cuando la lesión genera la pérdida parcial de un miembro u órgano o de las funciones del mismo.

- ✓ **Total Permanente:** cuando la lesión genera la pérdida anatómica o funcional total de un miembro u órgano; o de las funciones del mismo. Se considera a partir de la pérdida del dedo meñique.
- ✓ **Accidente Mortal:** Suceso cuyas lesiones producen la muerte del trabajador. Para efecto de la estadística se debe considerar la fecha del deceso.
- ✓ **Actividad:** Ejercicio u operaciones industriales o de servicios desempeñadas por el empleador en concordancia con la normatividad vigente.
- ✓ **Actividades, procesos, operaciones o labores de alto riesgo:** aquellas cuya realización implica un trabajo con alta probabilidad de daño a la salud del trabajador La relación de actividades calificadas como de alto riesgo será establecida por la autoridad competente.
- ✓ **Actividades Peligrosas:** Operaciones o servicios en las que el objeto de fabricar, manipular, expender o almacenar productos o sustancias son susceptibles de originar riesgos graves por explosión, combustión, radiación, inhalación u otros modos de contaminación similares que impacten negativamente en la salud de las personas o los bienes.
- ✓ **Ambiente, Centro o Lugar de Trabajo y Unidad de Producción:** Lugar en donde los trabajadores desempeñan sus labores o donde tienen que acudir por razón del mismo.

- ✓ **Causas de los Accidentes:** es uno o varios eventos relacionados que concurren para generar un accidente.

Se dividen en:

- **Falta de control.** - Son fallas, ausencias o debilidades administrativas en la conducción de la empresa o servicio y en la fiscalización de las medidas de protección de la salud en el trabajo.
 - **Causas Básicas.** - Referidas a factores personales y factores de trabajo
 - **Factores Personales.** - Referidos a limitaciones en experiencia, fobias, tensiones presentes de manera personal en el trabajador.
 - **Factores del Trabajo.** - Referidos al trabajo, las condiciones y medio ambiente de trabajo: organización, métodos, ritmos, turnos de trabajo, maquinaria, equipos, materiales, dispositivos de seguridad, sistemas de mantenimiento, ambiente, procedimientos, comunicación.
 - **Causas Inmediatas.** - Debidas a los actos y/o condiciones sub estándares
- ✓ **Construcción del Raise Borer:** Ejecución y/o abertura subterránea, que sirve para servicios de transporte, drenaje y

otros, comunica dos lugares en forma subterránea mediante un ducto.

- ✓ **Control de Riesgos:** Es el proceso de toma de decisión, basado en la información obtenida en la evaluación de riesgos. Se orienta a reducir los riesgos, a través de proponer medidas correctoras, exigir su cumplimiento y evaluar periódicamente su eficacia.
- ✓ **Costos Operativos:** Es el valor total expresado en moneda que genera una actividad, se considera los precios generales y totales de gastos de inversión y preparación en una actividad minera.
- ✓ **Equipos de Protección Personal (EPP):** Son dispositivos, materiales, e indumentaria específicos e personales, destinados a cada trabajador, para protegerlo de uno o varios riesgos presentes en el trabajo que puedan amenazar su seguridad y salud. El EPP es una alternativa temporal, complementaria a las medidas preventivas de carácter colectivo.
- ✓ **Evaluación de Riesgos:** Proceso posterior a la identificación de los peligros, que permite valorar el nivel, grado y gravedad de los mismos, proporcionando la información necesaria para que la empresa esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la oportunidad, prioridad y tipo de acciones preventivas que debe adoptar.

- ✓ **Gestión de Riesgos:** Es el procedimiento, que permite una vez caracterizado el riesgo, la aplicación de las medidas más adecuadas para reducir al mínimo los riesgos determinados y mitigar sus efectos, al tiempo que se obtienen los resultados esperados.
- ✓ **Identificación de Peligros:** Proceso mediante el cual se localiza y reconoce que existe un peligro y se definen sus características.
- ✓ **Riesgo:** Probabilidad de que un peligro se materialice en unas determinadas condiciones y sea generador de daños a las personas, equipos y al ambiente.
- ✓ **Seguridad:** Son todas aquellas acciones y actividades que permiten al trabajador laborar en condiciones de no agresión tanto ambientales como personales, para preservar su salud y conservar los recursos humanos y materiales.

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. HIPOTESIS GENERAL

El análisis geomecánico determina la ejecución óptima del Raise Borer 19 en la Mina Islay.

2.4.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS

- Las características geológicas de los macizos rocosos

determinan la ejecución del Raise Borer 19.

- Las clasificaciones geomecánicas determinan la ejecución del Raise Borer 19.

2.5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Se estudian cada una de las variables, las que se correlacionarán y compararán. Se identificaron las siguientes variables:

1.8.1 VARIABLES INDEPENDIENTES:

El análisis geomecánico.

1.8.2 VARIABLES DEPENDIENTES:

Ejecución óptima del Raise Borer en la Mina Islay.

1.8.3 VARIABLES INTERVINIENTES:

- Tamaño de la Perforación: Dimensiones de la sección del Raise Borer.
- Profundidad de la Perforación: Longitud total que se desarrollara.
- Verticalidad de la Perforación: Desviación producida en la ejecución de la perforación.
- Alteración del macizo rocoso: Alteraciones que se producen en el macizo rocoso por causa del método de perforación.

2.6. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

Se determinara como parámetros de propuesta de exploración geológica, de acuerdo a los valores de exploración en profundidad para la extracción del mineral, con la finalidad de mejorar la utilizando en método de perforación Raise Borer, después de realizar las inyecciones se llega a mejora la estabilidad del macizo rocoso en el desarrollo vertical de la Mina

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto a desarrollar estará basado en tres tipos: exploratorio, descriptivo y explicativo.

3.2 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación se ha requerido básicamente del análisis muy detallado de la base teórica y antecedentes, los cuales ayudaron en el entendimiento de la extracción del mineral de una cierta profundidad con el raise borer el cual se muestra con los datos analizados en los resultados presentados.

3.3 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Exploratorio: se toman datos geomecánicos de campo de las estructuras, obteniéndose información para determinar el tipo de sostenimiento en el raise borer.

Descriptiva: Se describe en forma detallada la geomecánica de los macizos rocosos y de las estructuras mineralizadas.

Explicativa: Definimos las causas y efectos que implican la caracterización geomecánica.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población en el estudio son los macizos rocosos y las estructuras mineralizadas del distrito minero y las muestras son tomadas en forma sistemática.

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Toma de datos y de muestras in situ, revisión de perforaciones diamantinas antiguas, revisión y recopilación de estudios geológicos existentes del distrito Minero.

3.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Se realiza el procesamiento de datos geomecánicos correlacionándolos con las clasificaciones geomecánicas sistematizadas.

3.7 TRATAMIENTO ESTADISTICO

Se realiza un enfoque cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geomecánica de la zona 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

3.8 SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

Una vez planteada la hipótesis, el mismo fue validado mediante la caracterización del macizo rocoso, además de la validación y confiabilidad de los instrumentos en un laboratorio donde se enviaran a hacer las pruebas.

3.9 ORIENTACIÓN ÉTICA

La investigación cumple con los estándares de comportamiento ético esperado, como normas éticas se consideró: El cuidado y protección de las personas, medio ambiente y la propiedad durante el desarrollo del trabajo de investigación. La información recabada de otros autores es citada, respetando la propiedad de los mismos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

4.1.1 UBICACIÓN

La unidad minera Islay se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera occidental de los Andes Peruanos; pertenece al Distrito de Huayllay, Provincia y Región de Pasco.

Las coordenadas UTM son:

DATOS	UTM WGS 84
Altitud	4600 msnm
Coordenada Este	343,814
Coordenada Norte	8'780,935

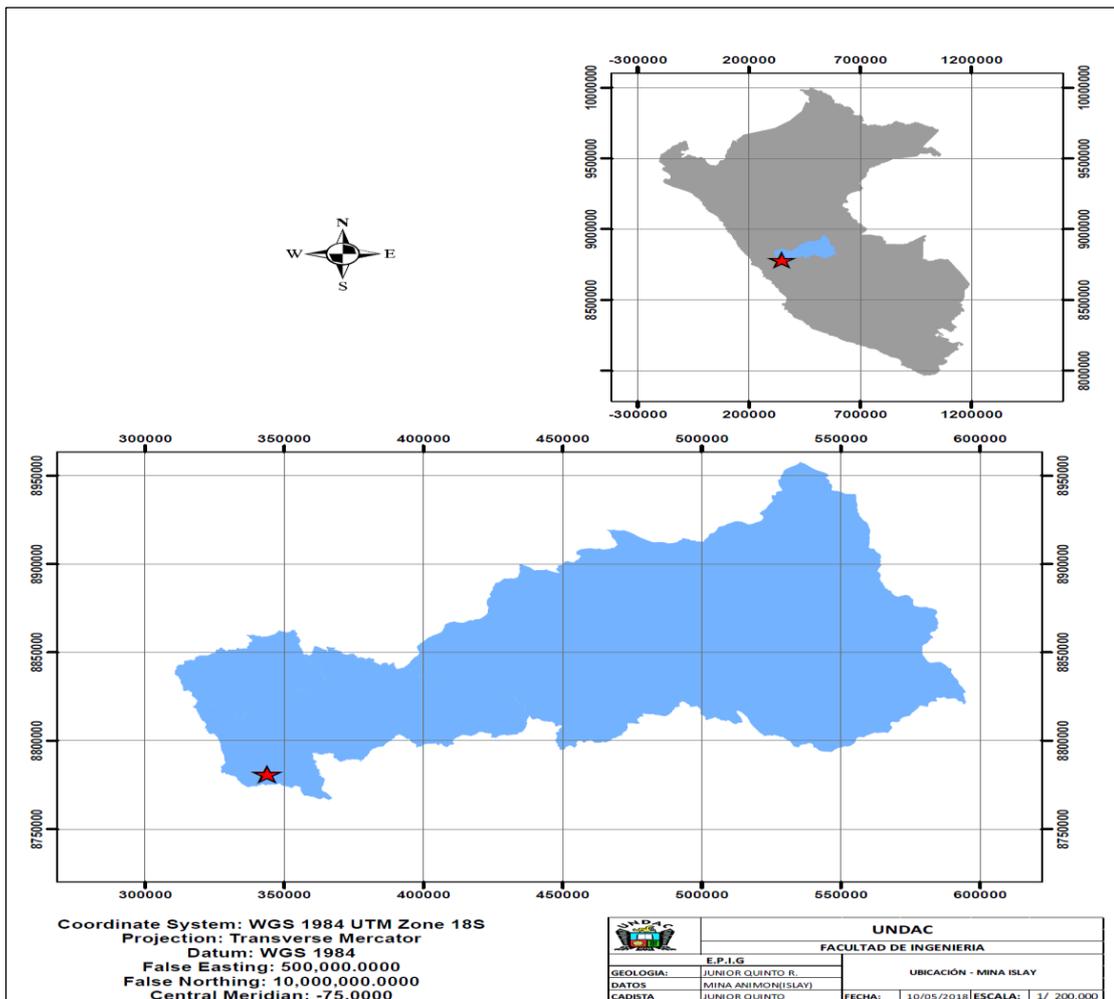
Tabla N°1: Coordenadas UTM de Islay

4.1.2 ACCESIBILIDAD

La unidad minera de Islay es accesible desde Lima a través de 3 rutas:

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

Ubicación de la Mina Islay



4.1.3 RESEÑA HISTÓRICA

Por el año 1913 el Sr. Mateo Galjuf observa un afloramiento oxidado potente al borde este de la laguna Naticocha que viene a ser la continuación de la Veta Restauradora que es propiedad de Huarón y se prolonga hacia el oeste por debajo de la laguna Naticocha; al encontrarse libre esta área la denuncia y toma posesión de la concesión el mismo año, con el nombre de Montenegro.

Por el año 1936 el Sr. Galjuf inicia una labor de reconocimiento de 50 metros al este sobre la cota 4,610 m.s.n.m. sobre este afloramiento al que denomina como veta Principal. Desde el año 1939 a 1947 existieron problemas limítrofes hacia el este con la concesión Restauradora propiedad de Cía. Minera Huarón, durante ese lapso Huarón sustrajo ilícitamente por el sistema de "glory hole" aproximadamente 50,000 T.M.S. desde el Nv. 400 hasta el Nv. 605, en un tramo de 50 metros al oeste del límite de Restauradora. Desde 1947 a 1956 existió un litigio administrativo y judicial por la sustracción indebida por parte de Huarón.

A partir de 1960 se inicia la construcción del pique Montenegro que profundiza hasta el año 1966 al nivel 420, a partir de este año se inicia un desarrollo agresivo de la veta Principal en los niveles 575, 540, 500 y 465 hasta el año 1970; a partir de ese año hasta

el año 1982 se trabaja un 30% la zona de Montenegro y un 70% áreas arrendadas de Huarón y Centromin

La producción diaria de la mina antes del desastre natural del 23 de abril de 1998 fue de 400 TMS diarias. A mediados del año 1997 se compraron las concesiones de Centromín C.P.H. 18, 19, 58 y Ranita; y en Setiembre del 2000 se compraron concesiones de Huarón que han permitido aumentar el potencial y vida de Animón.

En el 2000, Volcán adquirió la Empresa Administradora Chungar S.A.C, y la Empresa Explotadora de Vinchos Ltda. S.A.C., las que eran propietarias de las minas Animón y Vinchos.

Actualmente la mayoría de las acciones de la empresa Volcán es de Glencore.

4.1.4 FISIOGRAFÍA

RELIEVE

El relieve donde está ubicada la Unidad Operativa Chungar presenta un relieve moderadamente accidentado, con geoformas positivas las cuales están representadas por un conjunto de cerros más o menos redondeados y colinas truncadas por erosión, con flancos abruptos hacia el interior de los valles, estas geoformas presentan elevaciones que fluctúan entre los 4800 a 5300 msnm.

En el extremo SO del cuadrángulo de Ondores se ubica la Cordillera Occidental que tiene una dirección NO-SE concordante con la orientación andina, las cordilleras están constituidas por rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico que se hallan fuertemente plegadas y falladas, cubiertas por rocas volcánicas del Paleógeno al Neógeno. El flanco oeste de la Cordillera Occidental está intensamente disecado, originando un paisaje totalmente abrupto, mientras que el flanco este presenta un paisaje suave poco accidentado.

Las geoformas negativas están constituidas por una serie de lagunas escalonas, tales como: Quimacocha, Huaroncocha, Naticocha, y Llacsacocha, que están emplazadas a lo largo de un valle glaciar.

El principal fenómeno que ha participado en la configuración geomorfológica existente, ha sido la intensa glaciación pleistocénica, la que ha sido modificada por pequeños cursos de agua que descienden en forma torrentosa durante épocas de lluvias, que alimentan diversas lagunas que dan origen a las nacientes del río San José.

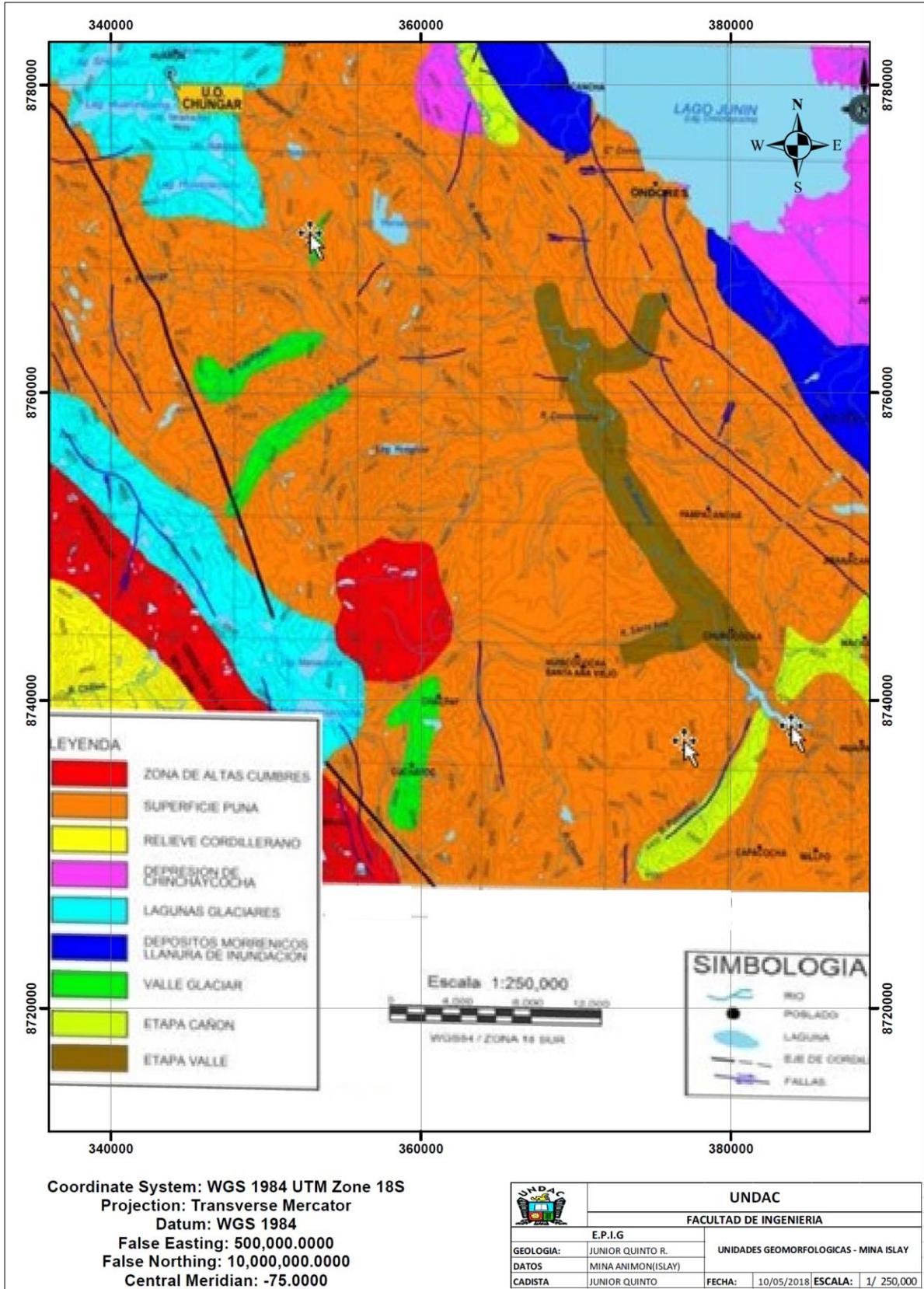
Dentro de las regiones naturales, Islay se encuentra dentro de la superficie Puna (4000-4700 msnm) a una cota de 4600 msnm, la topografía muestra valles en "U" resultado de la erosión glaciar, dejando como remanentes lagunas escalonadas.

Entonces en la fisiografía de Islay, podemos definir unidades de la superficie de forma notable, como cerros, lagunas, y ambientes glaciares.

4.1.5 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área es el resultado de los efectos desintegradores causados por los agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas constituidas por calizas y en menor proporción por areniscas.

Dentro de los agentes meteorizantes que han tenido un papel preponderante en el modelado actual del área ha sido la temperatura del medio ambiente, las precipitaciones pluviales, la escorrentía superficial y subterránea. En la zona de estudio Mc LAUGHLIN, D.H. (1924) reconoció extensas áreas en las alturas andinas representadas por superficies de erosión a las que denomina Superficie Puna, así mismo reconoció dos períodos de erosión: Estadío Chacra o Valle, con levantamiento de 500 metros de elevación y Estadío Cañón con una elevación aproximada de 1,500 m. Las unidades geomorfológicas del área de estudio han sido delimitadas considerando criterios geográficos, morfoestructurales y litológicos.



UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

Zona de Altas Cumbres

Corresponde a la parte más alta de la Cordillera Occidental que se extiende desde el Noroeste del cuadrángulo de Ondores hasta el cuadrángulo de Matucana, formando una línea de cumbre con dirección NO-SE que cruza el área. Se encuentra constituida por geoformas agrestes de modelado glaciar, algunas con restos de nieve perpetua como el Nevado Alcay, las cordilleras La Viuda, y Puagjanca, ubicadas al Suroeste del cuadrángulo de Ondores, alcanzando altitudes que varían de 4,800 a 5,400 msnm.

Estas cumbres constituyen las nacientes de los ríos Corpocancha, Capillayoc y Chonta, entre otros, presenta un drenaje dendrítico y drenan hacia la cuenca del Mantaro, siendo éstos sus principales tributarios.

Superficie Puna

Esta unidad reconocida por Mc LAUGHLIN, D.H. (1924) consistente en una superficie pobremente desarrollada, que no ha logrado ser peneplanizada por completo, la superficie se establece truncando los pliegues de la Tectónica Incaica que afecta a los estratos paleozoicos y mesozoicos. Teniendo como base a los volcánicos del Grupo Calipuy reconocido al Noroeste del cuadrángulo de Ondores, se tiene que estos volcánicos

descansan sobre una superficie de estratos mesozoicos y paleógenos plegados. Las superficies de erosión pueden ser identificadas sobre fotografías aéreas e imágenes de satélite, por presentar una morfología plana y ondulada.

Relieve Cordillerano

Dentro del cuadrángulo de Ondores se encuentra distribuido en la parte Sur Occidental. El relieve es caracterizado por tener una superficie de intensa erosión, laderas post-maduras, ríos moderadamente profundos y relativamente empinadas. Siendo la glaciación cuaternaria uno de los principales agentes que moldearon el relieve; la acción del hielo sobre la roca determina la topografía abrupta.

Depresión de la Laguna Chinchaycocha

Esta unidad geomorfológica se ubica entre las cordilleras Occidental y Oriental. en el sector Sureste del cuadrángulo de Cerro de Pasco y Noreste de Ondores, respectivamente, conforma una superficie ondulada con fondo llano disectado por el socavamiento del río Mantaro, moldeado por la acción eólica y erosión glaciaria, formando la depresión longitudinal del Lago Junín (Chinchaycocha). Así mismo presenta una morfología suave; ubicada a una altitud de 4,200 msnm emplazada en rocas del Grupo Pucará.

Lagunas Glaciares

Esta unidad geomorfológica se encuentra en la parte alta del área de estudio, la que ha sido afectada por la glaciación pleistocénica con significativas acumulaciones de hielo que cubren los nevados de Alcay, Jitpa, Lashal y Cordillera La Viuda, ubicadas en el extremo Suroeste del cuadrángulo de Ondores, presenta alineación Noroeste - Sureste. La formación de las lagunas se debe a las filtraciones del hielo en cubetas labradas por la glaciación, las que tienen como diques a las morrenas frontales, de tal manera que la filtración en la zona de estudio sería la causante de estas cubetas creándose las lagunas.

Depósitos Morrénicos y Llanura de Inundación

Esta unidad se extiende al Noroeste de la localidad de Cerro de Pasco, consiste de una superficie plana con tierras altas que alcanzan una altitud promedio de 4,300 msnm. Está moderadamente circundada por una cadena de cerros dentados que forman la divisoria continental, siendo cubierta en la parte baja con depósitos glaciares que forman las grandes morrenas; tal como se puede apreciar en las localidades de Huara cancha y la Hacienda Ranchangaga ubicados al Noreste del cuadrángulo de Ondores. Es posible distinguir depósitos morrénicos de dos diferentes edades. El antiguo por efecto de intemperismo, la cresta va siendo degradada y el reciente presenta una cresta

marginal dentada, siendo estos rasgos característicos de los hielos estancados que se dan al Noroeste de Ondores.

Valle Glaciar

Los ríos desarrollan varias etapas de erosión conformando los procesos y agentes geomorfológicos externos los que han actuado en combinación con movimientos epirogenéticos ocurridos a fines del Neógeno y el Cuaternario. Los valles glaciares se encuentran en las partes altas con un típico modelado glaciar destacándose las formas en “U” tal como los valles de Casacancha, Jircacancha, Racray, Pampa Cuncash ubicados al Suroeste del cuadrángulo de Ondores, estos valles están separados por una cadena de cumbres concordantes que descienden de 4,600 a 4,200 msnm.

Etapas Cañón

En la zona de estudio se encuentra en la zona Sureste del cuadrángulo Ondores, ligados a los valles formados por depósitos aluviales los que se suceden a diferentes niveles, a ambos flancos del lecho del río, tal como se ve en el río Pucayacu y Shiriconcha ubicados al extremo Sureste de la represa de Mal Paso, las cuales drenan sus aguas a la cuenca del Mantaro.

Etapas Valle

Esta unidad geomorfológica se ubica en el cuadrángulo de Ambo, presentando laderas con pendientes moderadas como las

formadas en el río Huertas y demás tributarios, los que llevan sus aguas al río Huallaga alcanzando una dirección de Norte a Sur. En su recorrido pasa por las localidades de Huariaca, San Rafael y Ambo cortando una serie de rocas paleozoicas como las del Grupo Mitú y el Neoproterozoico.

4.1.6 DRENAJE

El drenaje regional presenta un diseño dendrítico, las aguas son captadas del Río San José que es el Principal colector de la zona y discurre de Sur a Norte.

Localmente presenta un drenaje reticulado, correspondiente a rocas sedimentarias (margas, calizas y limonitas), con un espaciamiento de 5 a 15m, y el drenaje radial centrípeto donde los cursos de agua drenan hacia un centro común (lagunas escalonadas).

El agua de la laguna se obtiene de la laguna Naticocha y este es alimentado por las lagunas Huaroncocha y Quimacocha, comunicadas entre sí por un drenaje natural como artificial.

4.1.7 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.

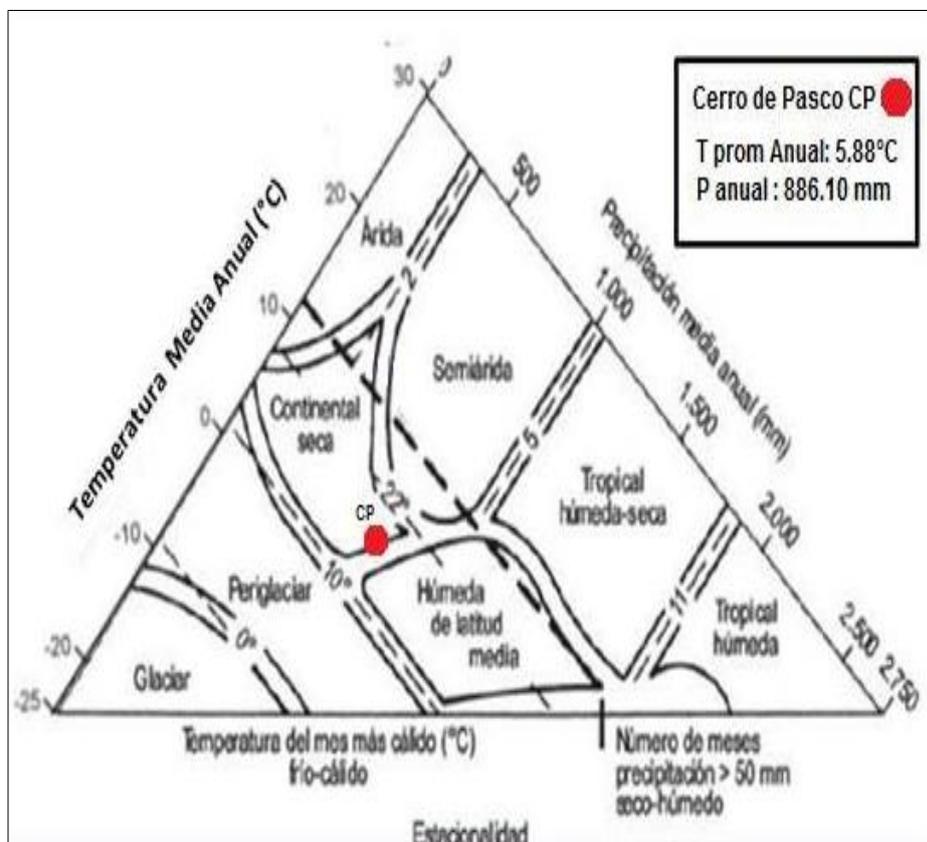
De acuerdo a los datos obtenidos del SENAMHI-2017, la temperatura y la precipitación se resume de la siguiente manera:

Temperatura Promedio Máxima Anual 2017 es: 11.20 °C

Temperatura Promedio Mínima Anual 2017 es: 1°C

Temperatura Promedio Anual es: 5.88 °C

Y según la clasificación Morfoclimática Chorley, nuestra zona de trabajo tiene un clima continental Seco.



Regiones Morfoclimáticas, (Chorley et al., 1984)

4.1.8 FLORA Y FAUNA

Flora

Vegetación de macizos alto andinos con extensos pajonales de Íchu (*Stipa ichu*) y pocas especies herbáceas y arbustivas, como el queñual (*Polylepis* spp.), el berro y las huamanpintas.

Fauna

Aves: Existe gran diversidad de aves, destacan los cernícalos (*Falco sparverius*)

4.1.9 RECURSOS NATURALES

Dentro de nuestra área de trabajo se cuenta con un recurso vital primario y renovable, como es el agua ya que se toma directamente de las Lagunas: Llacsacocha, Naticocha y Huaroncocha; la cual nos sirve tanto para las actividades mineras como para el consumo doméstico.

4.1.10 GEOLOGÍA REGIONAL

4.1.10.1 GENERALIDADES

Las Unidades litoestratigráficas que afloran en la región minera están constituidos por sedimentitas de ambiente terrestre de tipo “molásico” conocidos como “Capas Rojas”, rocas volcánicas andesíticas y dacíticas con plutones hipabisales.

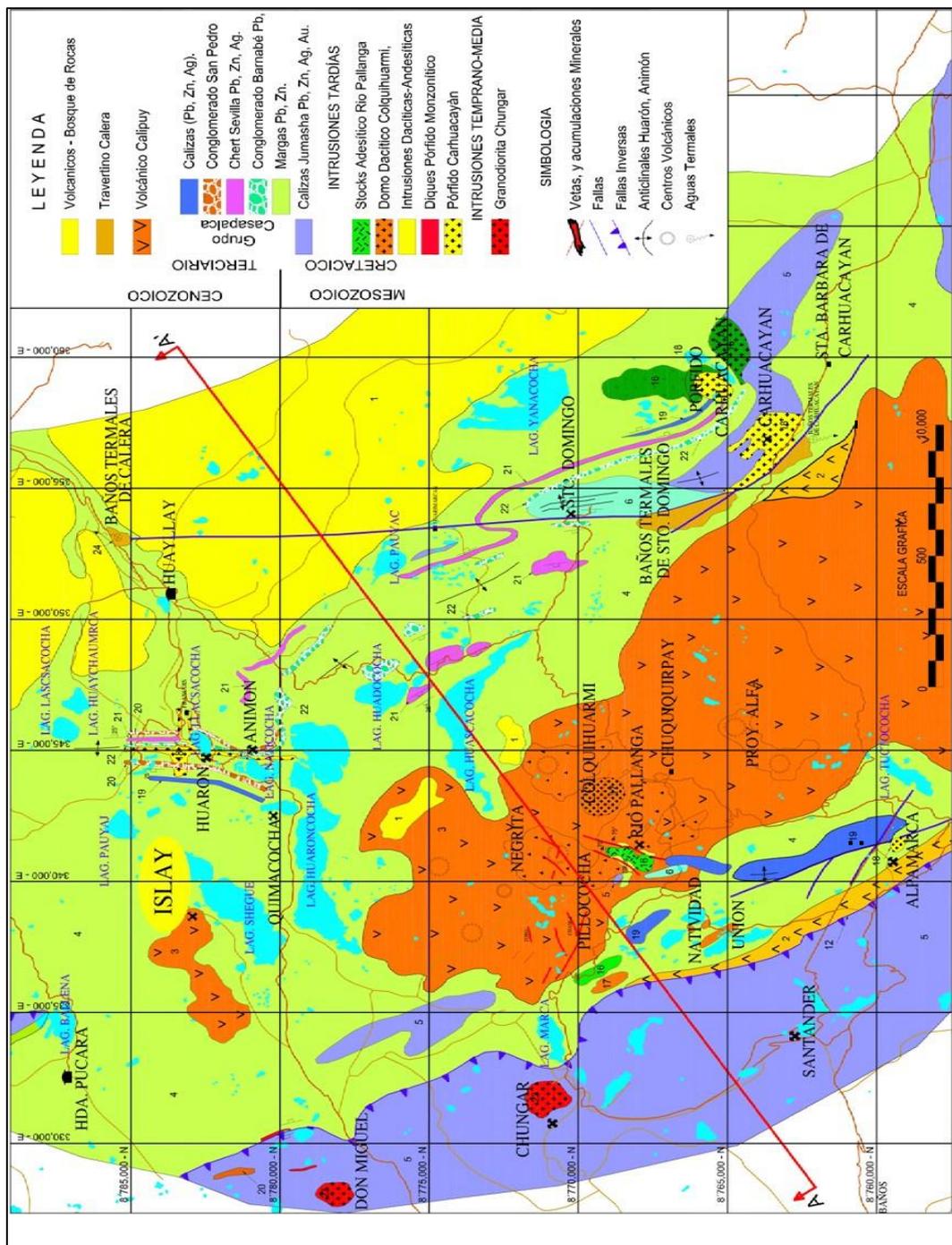
En la región abunda las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el este y está constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con algunos lechos de conglomerados y esporádicos horizontes lenticulares de calizas grises, se estima un grosor de 2,385 metros datan al cretáceo superior terciario inferior (Eoceno).

En forma discordante a las “Capas Rojas” y otras unidades litológicas del cretáceo se tiene una secuencia de rocas volcánicas con grosores variables constituido por una serie de derrames lávicos y piroclastos mayormente andesíticos, dacíticos y riolíticos pertenecientes al Grupo Calipuy que a menudo muestran una pseudoestratificación subhorizontal en forma de bancos medianos a gruesos con colores variados de gris, verde y morados. Localmente tienen intercalaciones de areniscas, lutitas y calizas muy silicificadas que podrían corresponder a una interdigitación con algunos horizontes del Grupo Casapalca. Datán al cretáceo superior-terciario inferior (Mioceno) y se le ubica al Suroeste de la mina Animón.

Regionalmente ocurre una peneplanización y depósitos de rocas volcánicas ácidas tipo “ignimbritas” tobas y aglomerados de composición riolítica que posteriormente han dado lugar a figuras

“caprichosas” producto de una “meteorización diferencial” conocida como “Bosque de Rocas” datan al plioceno.

Completan el Marco Geológico-geomorfológico una posterior erosión glacial en el pleistoceno que fue muy importante en la región siendo el rasgo más elocuente de la actividad glacial la creación de grandes cantidades de lagunas.



Plano Geológico Regional (Ref. Ing. 2008)

COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL

ERAS	PERIODO	SERIE	ESCALA ESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION LITOLOGICA	
CENOZOICO	TERCIARIO	CUATERNARIO	SERIES VOLCANICO SEDIMENTARIAS Y VOLCANICOS		-TUFOS SOLDADOS DEL BOSQUE DE ROCAS, HUAYLLAY (Fm. BOSQUE DE ROCAS)
		HOLOCENO			FORMACION YANTAC VOLCANO - SEDIMENTARIOS
		PLEISTOCENO			- TRAVERTINO CALERA, CARHUACAYAN Y AGUAS TERMALES
		PLIOCENO			- FORMACION CALIPUY, LAVAS, FLUJOS PIROCLASTICOS STOCK ANDESITICOS, DACITICOS, DOMOS RIOLITICOS
		MIOCENO			- FORMACION ABIGARRADA, CAPAS ROJAS SUPERIORES
		OLIGOCENO			ARENISCAS CON ELEMENTOS VOLCANICOS
	MESOZOICO	CRETACICO	EUCENO	CONGLOMERADOS	CALIZAS
			PALEOGENO	- FORMACION CAPAS ROJAS (CASAPALCA) PELITAS, MARGAS, ARENISCAS CONGLOMERADOS, CHERT	
		JURASICO	INFERIOR	SERIES SEDIMENTARIAS	- FORMACION CELEDIN, CALIZAS, MARGAS (ESCASAS EN EL AREA)
			SUPERIOR	- FORMACION JUMASHA, CALIZAS GRISES (METALOTECTO)	
	INFERIOR		- FORMACION PARIATAMBO (-100m. Pot.) CALIZAS CON CAPAS DE CARBON BITUMINOSO (ASFALTITAS)		

0



UNDAC

FACULTAD DE INGENIERIA

E.P.I.G

GEOLOGIA: JUNIOR QUINTO R.

DATOS: MINA ANIMON (ISLAY)

CADISTA: JUNIOR QUINTO

COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL

FECHA: 10/05/2002 ESCALA:

4.1.10.2 ESTRATIGRAFÍA

Formación Pariatambo (Ki-pt)

Esta formación está constituida de calizas y margas bituminosas de color negro con intercalaciones de calizas oscuras tabulares que se rompen a manera de lajas.

Aflora en el borde oriental de la Cordillera La Viuda y el Nevado Alcaj, con cierto paralelismo a las calizas Jumasha. Sobreyace e infrayace concordantemente a las formaciones Chúlec y Jumasha, respectivamente, contrastando por su color oscuro y bituminoso.

Su nombre proviene del paraje de Pariatambo (La Oroya), en el departamento de Junín.

Edad y Correlación

Esta unidad presenta abundantes fósiles, principalmente Amonites (BENAVIDES, V., 1956) sin embargo en el área de estudio no se ha reportado ningún fósil. En base a la posición estratigráfica y reporte de fósiles en otros lugares se le ubica en el Albiano medio a tardío, presenta amplia distribución en la región andina central y septentrional.

Formación Jumasha (Ks-ju)

Descrita inicialmente por Mc LAUGHLIN, D. (1925) en el caserío de Jumasha, y en la laguna Punrún (hoja de Oyón).

Esta formación consiste de calizas gris a gris parduzcas masivas, en bancos medios a gruesos, muy resistentes a la erosión. Morfológicamente, presenta picos agrestes, escarpados y conspicuos.

Sus mejores afloramientos se encuentran en la hoja de Ondores con un espesor aproximado de 400m, ocupando las altas cumbres como las Cordilleras Puagjanca y La Viuda, así como los Nevados Alcay, Lashual.

Edad y Correlación

En el área de estudio no se ha reportado fósiles, pero por su posición concordante sobre la Formación Pariatambo y debajo de la Formación Celendín, se le asigna una edad de Albiano superior-Turoniano. *

Formación Celendín (Ks-ce)

En el cuadrángulo de Ondores próximo a la Cordillera de Puagjanca, se ha determinado un delgado afloramiento, constituido por margas grises a pardo amarillentas que intemperizan a color amarillo crema con delgadas intercalaciones de caliza gris en capas delgadas. Presenta morfología suave, ondulada y tiende a erosionarse rápidamente.

Esta unidad marca el fin de la sedimentación marina del Mesozoico, que presentó gran amplitud de desarrollo a lo largo de las facies de cuenca y plataforma que en la actualidad es ocupada por la Cordillera Occidental.

Suprayace en concordancia sobre la Formación Jumasha, infrayaciendo en discordancia a la Formación Casapalca, aunque en el área de estudio se encuentra en contacto fallado.

BENAVIDES, V. (1956) describió con este nombre en la localidad de Celendín Cajamarca, a una secuencia lutácea y calcárea del Cretáceo superior.

Edad y Correlación

En el área no se encontraron fósiles diagnósticos, sin embargo, presenta fauna variada y amonites (BENAVIDES, V., 1956; WILSON, J., 1963-1967). Asimismo, encontraron en la región Norte andina amonites típicos del Coniaciano y Santoniano.

Formación Casapalca-Capas Rojas (Kp-ca)

Esta unidad aflora extensamente sobre el geoanticlinal del Marañón con varios cientos de metros de potencia (Mc LAUGHLIN, D.H., 1924). Por lo general, la serie de capas rojas consiste íntegramente de sedimentos, constituida por lutitas, limolitas, areniscas de colores rojo ladrillo, hacia la base presenta niveles de conglomerados con clastos de calizas, areniscas rojas e intrusivos, hacia el tope se observa predominancia de calizas

blanquecinas con intercalaciones de areniscas conglomerádicas rojizas.

En la hoja de Ondores se observa cerca de la laguna de Chungar (Oeste de Huayllay) y en las vecindades de Ticlio se encuentra asociada a una andesita porfirítica a manera de sills o derrames (HARRISON, J., 1956).

Su potencia es variable de un lugar a otro, así en las vecindades de la laguna Marcapomacocha (Ondores) la serie presenta más de 1000 m., siendo más potente que en el valle de Corpacancha.

Edad y Correlación

Sobreyace aparentemente en concordancia sobre la Formación Celendín e infrayace en discordancia a los volcánicos del Grupo Calipuy y tufos Huayllay.

Por su relación estratigráfica y evidencia paleontológica se considera haberse depositado desde el Cretáceo hasta el Paleógeno temprano. Se correlaciona con la formación del mismo nombre del Perú central y con la Formación Chota descrita por BENAVIDES, V: (1956) en el Norte del Perú.

Formación Yantac (Pe-y)

Con este nombre se designa a una secuencia volcano-sedimentaria, inicialmente descrita por HARRISON, J. (1956), denominado como Serie Abigarrada.

Constituida por rocas clásticas y piroclásticas, variando a conglomerados, areniscas gris parduzcas, caliza arenosa, limolitas y lutitas de colores abigarrados (verde a marrón, púrpura, rosado, gris, blanco y pardo). Sus mejores afloramientos se observan hacia el lado sur occidental de Santa Bárbara de Carhuacayán (Ondores).

En la ruta de la mina Alpamarca a la mina Santander se observan capas estratificadas de sedimentos, areniscas, conglomerados, calizas con lavas andesíticas, basálticas, compactas de colores abigarrados que hacen muy característico su reconocimiento, sobrepasa los 150 m. de potencia; mientras al Oeste de la divisoria continental, cerca de la Cordillera La Viuda, la potencia es de unos 80 m y consiste de conglomerados con cantos de cuarcita, caliza arenosa y capas rojas arcillosas y guijarros. La potencia aumenta hacia el SE a lo largo de la Cordillera de Viuda.

Edad y Correlación

En los sedimentos de esta unidad no se ha encontrado fósiles. La posición estratigráfica es importante ya que sobreyace en discordancia sobre las capas rojas de la Formación Casapalca e infrayace en discordancia a la serie volcánica Paleógena, por lo que se asume una edad del Eoceno-Oligoceno.

Grupo Calipuy (PN-vca)

El Grupo Volcánico Calipuy descansa en discordancia sobre la Formación Casapalca; fue depositado después del período de plegamiento, erosión y levantamiento que afectaron a la Formación Casapalca y que culminaron con una amplia superficie de erosión.

Los mejores afloramientos se ubican en el lado Occidental de la hoja de Ondores, constituidos por rocas piroclásticas gruesas, lavas ácidas e ignimbritas dacíticas, aunque entre la carretera de la Cordillera la Viuda a Canta la secuencia es extremadamente variada, consistiendo principalmente de lavas andesíticas púrpuras, piroclastos gruesos, tufos finamente estratificados, basaltos, riolitas y dacitas, todos los cuales presentan variaciones laterales bastante rápidas, y se puede definir que la parte superior del Calipuy es más ácida que la parte inferior y es particularmente rica en ignimbritas.

También es considerado como un metalotecto muy importante por albergar mineralización de tipo hidrotermal.

Edad y Correlación

Estratigráficamente, es conocido que los depósitos descansan sobre una superficie de erosión bien desarrollada como es la Formación Casapalca del Cretáceo superior y Paleógeno en notoria discordancia.

Con evidencia de dataciones radiométricas hechas por varios autores los cuales esclarecen el problema. FARRAR, E. y NOBLE, D. (1976) en dos muestras tomadas en la localidad de río Pallanga por el método K-Ar, obtienen edades que oscilan entre 14.58 ± 0.48 y 14.67 ± 0.48 M.A. Con estos datos, el Grupo Calipuy es del Mioceno.



Capas Rojas del Grupo Casapalca y Volcánico Calipuy

Formación Huayllay (Np-h)

Después de la última Fase Tectónica andina hubo una actividad volcánica con ignimbritas que rellenaron las superficies de erosión bajo la forma de efusiones lávicas andesíticas intercaladas con piroclastos. Así, el afloramiento más notable se observa en los alrededores de Huayllay, teniendo buena extensión hacia el cuadrángulo de Ondores (próximo a Santa

Bárbara de Carhuacayán) y Cerro de Pasco (Hacienda Conoc), formando una extensa meseta alargada de dirección andina.

Morfológicamente es ondulada a agreste, presenta disyunción columnar bien desarrollada, la cual se “intemperizó” dando un paisaje fantástico que hace recordar a árboles nudosos y retorcidos conocido con el nombre de “Bosque de Piedras” formando más de 500 figuras caprichosas, principalmente de animales formados por la acción del intemperismo.

Litológicamente, es un tufo porfirítico blanco friable que contiene vidrio, plagioclasa, cuarzo redondeado y hojas brillosas de biotita, estando presente clastos de pómez que no están aplanado; todos los cristales están frescos y tienen apariencia de brillo primitivo y se encuentran en posición subhorizontal rellenando paleo-relieves.

Edad y Correlación

En el Cerro Shayhua Cruz (próximo a Huayllay) se reporta una edad de 6.2 ± 0.2 (6.4) M.A. por el método K-Ar (WILSON, J. 1975). En base a estas edades se le ubican en el Plioceno.

Es equivalente a las formaciones Fortaleza y Yungay, con edades de 4.9 M.A. y 6.9 M.A. (WILSON, J., 1975) y aflora en el lado Noroccidental del área. Descansa sobre una superficie de erosión de topografía denominada como Superficie Puna (Mc LAUGHLIN, D.H., 1924)

Modo de Depósito

Ninguna fuente de alimentación para estas capas ha sido localizada con seguridad. Aunque hay una fuerte similitud litológica con los intrusivos de alto nivel, hay substancial diferencia de edad y parece que los dos pueden estar relacionados.



Bosque de Piedras Huayllay

Depósitos Cuaternarios (Q)

Constituye todos los depósitos de cobertura, generalmente no consolidados y que tienen distribución irregular en el área de estudio. Estos materiales se han acumulado como resultado de procesos glaciares, aluviales, fluviales de fenómenos de geodinámica externa. Se ha diferenciado los siguientes depósitos:

Depósitos Morrénicos

Estos depósitos son producto de glaciación y se ubican sobre los 4000 msnm a manera de lomadas con cresta morrénica bien definida, constituidos por bloques, gravas, arena y limo en matriz areno-limosa pobremente clasificados, a veces con leve pseudoestratificación y lentes como testigo de fusiones estacionales durante el período glaciario.

En el fondo y laderas de los valles se depositaron morrenas, mientras muy a menudo se formaban lagos por fusión del hielo detrás de las morrenas terminales.

La ablación ocasiona valles en forma de "U", circos glaciares, aborregamientos, picos altos angulosos ocasionados por la acción del hielo durante la glaciación y en la actualidad

Depósitos Fluvioglaciares

Es el material acarreado por medio fluvial (agua) y glaciario (hielo) que se deposita a manera de llanuras con característica de erosión fluvial producto del deshielo y que guarda relación con el proceso erosivo activado por el levantamiento andino y las diferentes etapas de glaciación.

Están constituidos por gravas, arenas, limos algo consolidados con cierta estratificación, clastos subredondeados a subangulosos y los fragmentos son de composición variable dependiendo del lugar de procedencia.

Depósitos Bofedales

Comprende a materiales acarreados sobre una depresión o planicie constituida por arenas, limos y gravas, siendo característica importante la acumulación de agua formando terrenos “fangosos” a “pantanosos”. Se observa principalmente en las márgenes del lago de Junín Chinchaycocha siendo determinada como parque ecológico por el abundante desarrollo de peces, variedad de aves, etc. y especímenes de totora.

Depósitos Coluviales

Son aquellos depósitos que se encuentran al pie de las escarpas, laderas prominentes, como material de escombros constituidos por bloques de gravas, guijarros con clastos subangulosos a angulosos y matriz areno-limosa que no han sufrido transporte.



Depósitos Coluviales

Depósitos Aluviales

Se ubican en las partes bajas del área de estudio, generalmente por debajo de los 4,100 msnm. Presenta capas de grava gruesa y fina con cierta clasificación y elementos redondeados a subredondeados, asociados en capas de arena, limo y en proporciones variables; buenos ejemplos se observan en ambos márgenes de los ríos: Huallaga (Ambo), San Juan (Cerro de Pasco) y Mantaro (Ondores). Estos depósitos forman típicos “conos aluviales” de variada amplitud, ubicándose en el lado oriental del lago de Junín (Chinchaycocha) y que a la vez ha servido para el desarrollo de centros poblados y terrenos de cultivo.

4.1.10.3 ROCAS INTRUSIVAS

Los intrusivos que afloran en el área de estudio corresponden a cuerpos emplazados en forma de rocas plutónicas e hipabisales localizados en diferentes épocas.

En la zona alta de la Cordillera Occidental y alrededores de Cerro de Pasco se presentan grupos de intrusivos menores de características hipabisal relacionados a yacimientos hidrotermales que se distribuyen irregularmente a lo largo de la Cordillera Occidental y Oriental, denominados como stocks de alto nivel.

Stock e Intrusivos de Alto Nivel

Se encuentran limitados entre la Cordillera Occidental y la Oriental; son de tamaño generalmente de 4 km², pero raramente pueden alcanzar 10 km², son completamente diferentes en orden de magnitud con respecto del batolito de Huánuco y al macizo de San Rafael; están distribuidos sobre áreas muy grandes intruyendo a rocas generalmente del Paleógeno, tenemos Carhuacayan, Rio Pallanga y Colquihuarmi.

Huarón

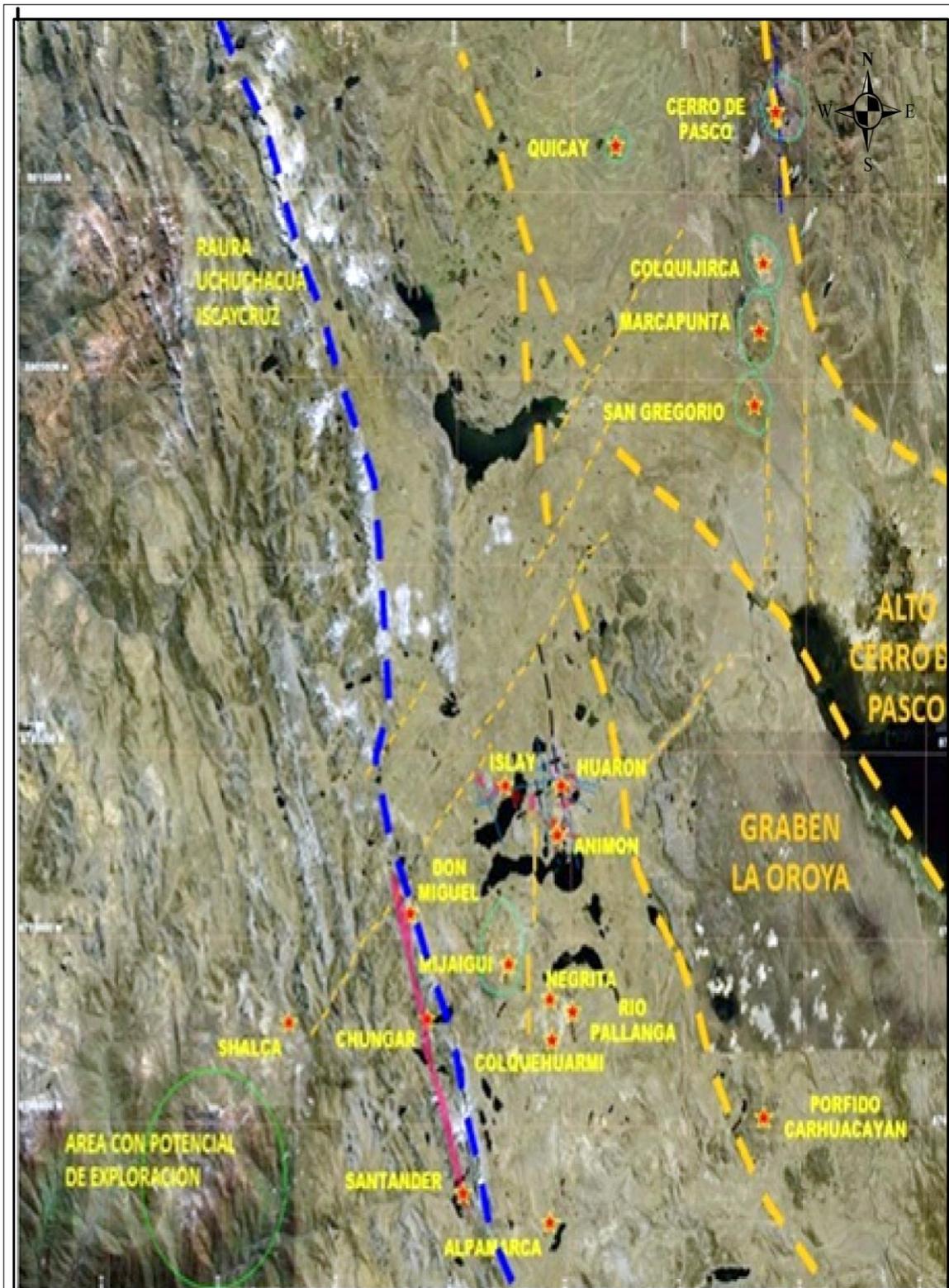
A 7 km al Oeste de Huayllay aflora un stock alargado de monzonita cuarcífera a pórfido de cuarzo, cortado por un enjambre de seis diques y emplazado en la Formación Casapalca y volcánicos del Grupo Calipuy. Intrusivo que es el causante de la mineralización Cu, Pb, Zn, Ag.

4.1.10.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El dominio estructural está definido por el anticlinal Animón - Huarón, con eje de rumbo N 30° W (orientación andina). En el flanco occidental los estratos buzcan en promedio entre 30° a 40° al NW, la estructura tiene una longitud de 5Km.

Próximo al tajo Quimacocha (500m al NE de la Laguna Quimacocha), se ha podido reconocer una falla (relacionada a la mineralización) de rumbo N 70° W, y buzamiento 80°-85° SW,

presenta un lineamiento continuo hasta la mina Islay (hacia el Oeste) y al lado Este de la Laguna Naticocha. La Veta Principal de la mina Animón es una falla importante, tiene un rumbo promedio de N 75°- 80° W, y buzamiento de 80° – 85° NE. Las vetas tensionales asociadas a la Veta Principal de Animón, estarían comprendidas dentro de un sistema de abertura de dilatación extensional, con una orientación NNE y los fallamientos de orientación EW están relacionados a las estructuras principales. Finalmente existen fracturas de orientación antiandina asociadas a la tectónica compresiva regional que afecto el área Animón - Islay.



FALLA REGIONAL INVERSA FALLA REGIONAL NW FALLA TENSIONALES NNE	UNDAC FACULTAD DE INGENIERIA	
	GEOLOGIA: JUNIOR QUINTO R. DATOS: MINA ANIMON (ISLAY) CADISTA: JUNIOR QUINTO	E.P.I.G IMAGEN SATÉLITAL CON LAS ESTRUCTURAS REGIONALES Y YACIMIENTOS PRINCIPALES FECHA: 10/05/2002 ESCALA: GRÁFICA

PLEGAMIENTO

Por acción de la Orogénesis Incaica, por esfuerzos compresivos Este-Oeste, los sedimentos preterciarios terciarios han sido fuertemente plegados en estructuras que se orientan en forma regional al N 25° W. La manifestación tectónica principal de la zona es el anticlinal de Huarón, cuyas características son las siguientes:

- Es un pliegue asimétrico, con el flanco oriental de mayor buzamiento 50°-60°E que el occidental 35°-42°W.
- El plano axial se orienta al N 20°-30°W y se inclina al oeste.
- El plano axial presenta en la parte central del distrito una suave convexidad hacia el este.
- El eje del anticlinal presenta doble hundimiento; la parte norte se hunde 15°-20° al Norte y la parte Sur 5° a 8° al Sur.
- Las dimensiones de la estructura son de 20 Km. a lo largo de la zona axial longitudinal y 6 Km. a lo largo de la zona axial transversal (se toma como horizonte guía el techo del chert Córdova).



Anticlinal Animón-Huarón Imagen extraída de google Earth

A 3.5 Km. al oeste del anticlinal de Animón-Huarón se ubica el sinclinal de Quimacocha cuyo plano axial es paralelo al anticlinal de Huarón. La geometría del anticlinal de doble hundimiento implica que la estructura ha sido originada por una deformación dómica en respuesta a fuerzas tectónicas dirigidas hacia el Este y hacia arriba, la resultante mayor orientada a $N65^{\circ}E$ fue aplicada en la parte central del distrito y la resultante intermedia fue dirigida hacia arriba.

La ausencia de fracturas pre-intrusivas tensionales y de cizallamiento indican que la deformación del anticlinal se efectuó dentro de los límites elásticos específicos que caracterizan a las unidades litológicas, por lo tanto, la acumulación de una enorme energía, en estado latente dentro de la estructura fue el efecto concomitante a la acción de los esfuerzos de compresión en épocas

pre intrusivas. Posterior al depósito de los piroclastos de Huayllay y en épocas post-minerales se registró un plegamiento adicional de poca intensidad (plegamiento Quichuano) que ha producido suaves ondulaciones en la formación Huayllay.

FRACTURAMIENTO

En épocas posteriores el emplazamiento de los diques axiales, el anticlinal de Huarón fue nuevamente comprimido por fuerzas dómicas cuya principal resultante fue orientada al S 80° E y hacia arriba. Estas fuerzas sobrepasaron el límite elástico de las formaciones litológicas y dieron origen al fracturamiento transversal y longitudinal del anticlinal y al desplazamiento ascensional de la parte central del distrito.

El fracturamiento se realizó mediante dos conjuntos de fracturas pre minerales: El conjunto transversal orientada en dirección E-W: y el conjunto longitudinal orientada en la dirección N-S.

4.2. PRESENTACIÓN ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 GEOLOGÍA LOCAL

En las “Capas Rojas” del Grupo Casapalca está ubicado el yacimiento Islay. El Grupo Casapalca presenta tres ciclos de sedimentación, motivo por el cual se considera Grupo a la Formación Casapalca.

El ciclo más antiguo es el más potente con 800m de grosor,

- El ciclo medio con una potencia de 500m
- El ciclo más joven tiene una potencia de 500m

Cada ciclo en la parte inferior se caracteriza por la abundancia de conglomerados y areniscas, en la parte superior contienen horizontes de chert, yeso y piroclásticos. La gradación de los clastos y la orientación indican que los materiales han venido del Este, (Cordillera Oriental de los Andes).

4.2.2 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.

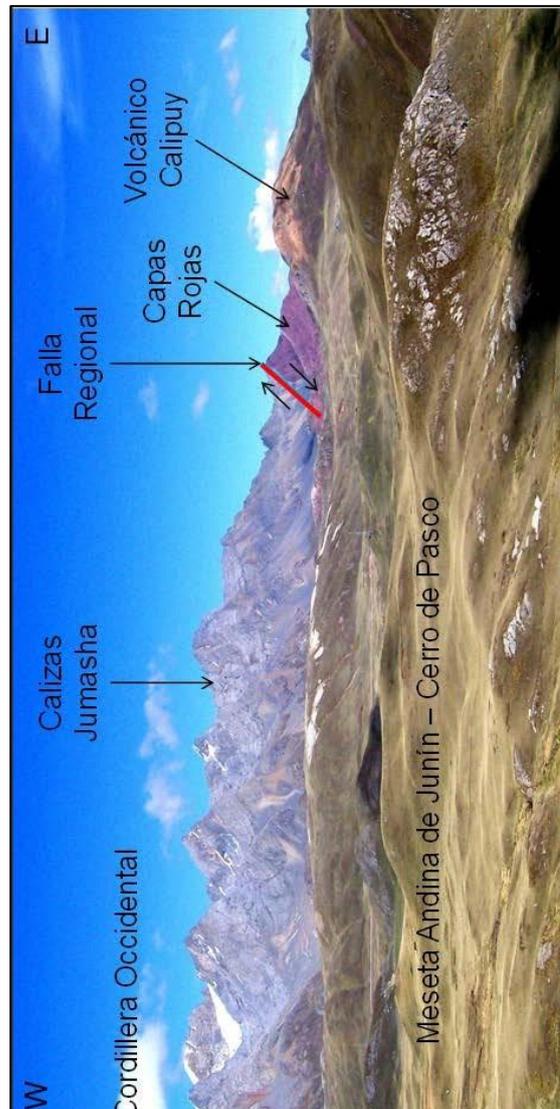
El afloramiento más típico de esta Formación se encuentra en el distrito de Canchacucho a 12Km al Norte de Animón. En la parte Sur

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.

FORMACIÓN CASAPALCA (CAPAS ROJAS) Cretácico Superior – Terciario Inferior

1) 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.



: Falla de sobrescurrimiento de la Capas Cretácico Mesozoico Inferior y el Terciario Inferior

2) **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:

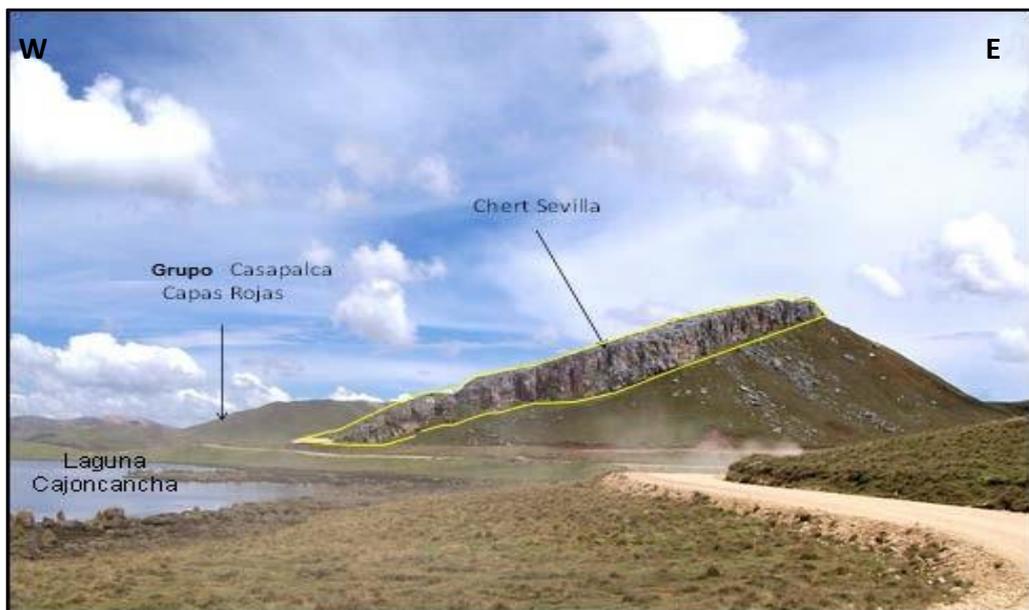
Horizonte Base.- Conformada por el **conglomerado Bernabé** (Ver Figura N°3.2) que es un metalotecto importante de la región con un espesor de 40m y está constituido por clastos de cuarcita de 2-10cm de diámetro y matriz arenosa.

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.



Las líneas de color amarillo delimitan el Conglomerado Bernabé (Horizonte Base - Formación Media del Grupo Casapalca), foto mirando al Norte.



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.

3) 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 redepositados, 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°3.4), 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.



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.

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 pseudoestratificación. La pseudoestratificación 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)

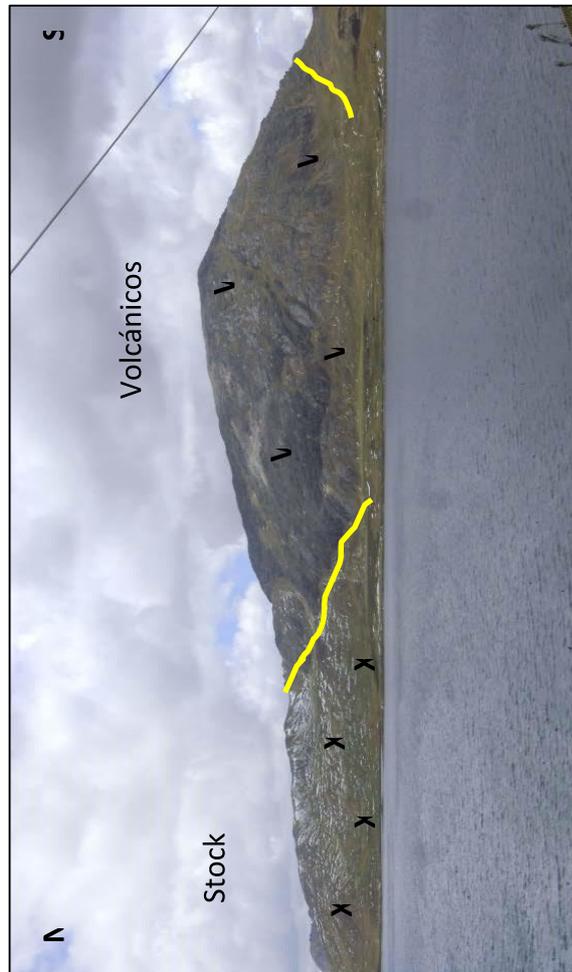
Está compuesto por tufos grises, brechas y cenizas volcánicas de carácter ácido, riolitas y riodacitas, de grano grueso, de color gris marrón claro. Presenta estructura fluidal y hay presencia de cuarzos bipiramidales de 1 a 5mm y cristales de biotita.

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.

CUATERNARIO

DEPÓSITOS RECIENTES

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



:Las líneas de color amarillo delimitan las rocas del Volcánico Calipuy que
se encuentran en la zona de la Mina Islav

COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL - ISLAY

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS				UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS				SUCESO GEOLOGICO	MILLONES AÑOS																												
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD	GRUPO	FORMACION	UNIDAD	COLUMNA			SIMBOLO	GROSOR mts.	LITOLOGÍA																									
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	OLIGOCENO	MIOCENO	PLIOCENO	CUATERNARIO	RECIENTE	PLISTOCENO	QUATERNARIO	Q-Dep-R	10	Depósitos fluvioglaciares Limo-Arcilla-gravoso	EROSION GLACIAR ELEVACION ANDES 4,000	1																						
											Q-Pl-mo	20	morrenas con clastos angulosos a subredondeados en matriz arenosa.																								
											MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	OLIGOCENO	MIOCENO	PLIOCENO	CUATERNARIO	RECIENTE	PLISTOCENO	QUATERNARIO	Te-Fm-H	200	tobas ignimbritas riolitas y andesitas	PLEGAMIENTO QUICHUANO	13											
																						Tm-Voa	1000	Volcanicos, piroclásticos, lavas de andesitas y dacitas porfiríticas.	PENEPLANIZACION SUPERFICIE PUNA	25											
																						MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	OLIGOCENO	MIOCENO	PLIOCENO	CUATERNARIO	RECIENTE	PLISTOCENO	QUATERNARIO	Quimacocha	>50	Margas limolíticas rojizas con Nvs. areniscas, lodolitas, limolitas y clz.	PLEGAMIENTO INCALCINADO ANTICLINAL DE HUARON	36
																																		20	Calizas finas con chert irregular.		
																																		100	Margas limolíticas rojizas.		
																																		50	Conglom. "SAN PEDRO"		
																																		300	Margas limolíticas rojizas con delgados nvs. de areniscas rojizas.		
																																		25	Chert SEVILLA calcáreo violáceo.		
420	Areniscas calcareas y margas rojizas.																																				
40	Conglomerado BERNABÉ con clastos de caliza.																																				
800	Areniscas calcareas, limolitas y margas rojizas.																																				
550	Calizas masivas de colores claros.	PERUANA FORMACION DE LOS ANDES	63																																		
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	OLIGOCENO	MIOCENO	PLIOCENO	CUATERNARIO	RECIENTE	PLISTOCENO	QUATERNARIO	Quimacocha	550	Calizas masivas de colores claros.	FORMACION DE LOS ANDES	90																						
												800	Areniscas calcareas, limolitas y margas rojizas.																								
												40	Conglomerado BERNABÉ con clastos de caliza.																								
												420	Areniscas calcareas y margas rojizas.																								
												25	Chert SEVILLA calcáreo violáceo.																								
												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.																								
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	PALEOCENO	OLIGOCENO	MIOCENO	PLIOCENO	CUATERNARIO	RECIENTE	PLISTOCENO	QUATERNARIO	Quimacocha	550	Calizas masivas de colores claros.	FORMACION DE LOS ANDES	113																						
												800	Areniscas calcareas, limolitas y margas rojizas.																								
												40	Conglomerado BERNABÉ con clastos de caliza.																								
												420	Areniscas calcareas y margas rojizas.																								
												25	Chert SEVILLA calcáreo violáceo.																								
												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.																								

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

4.2.3 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 preintrusivas 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.

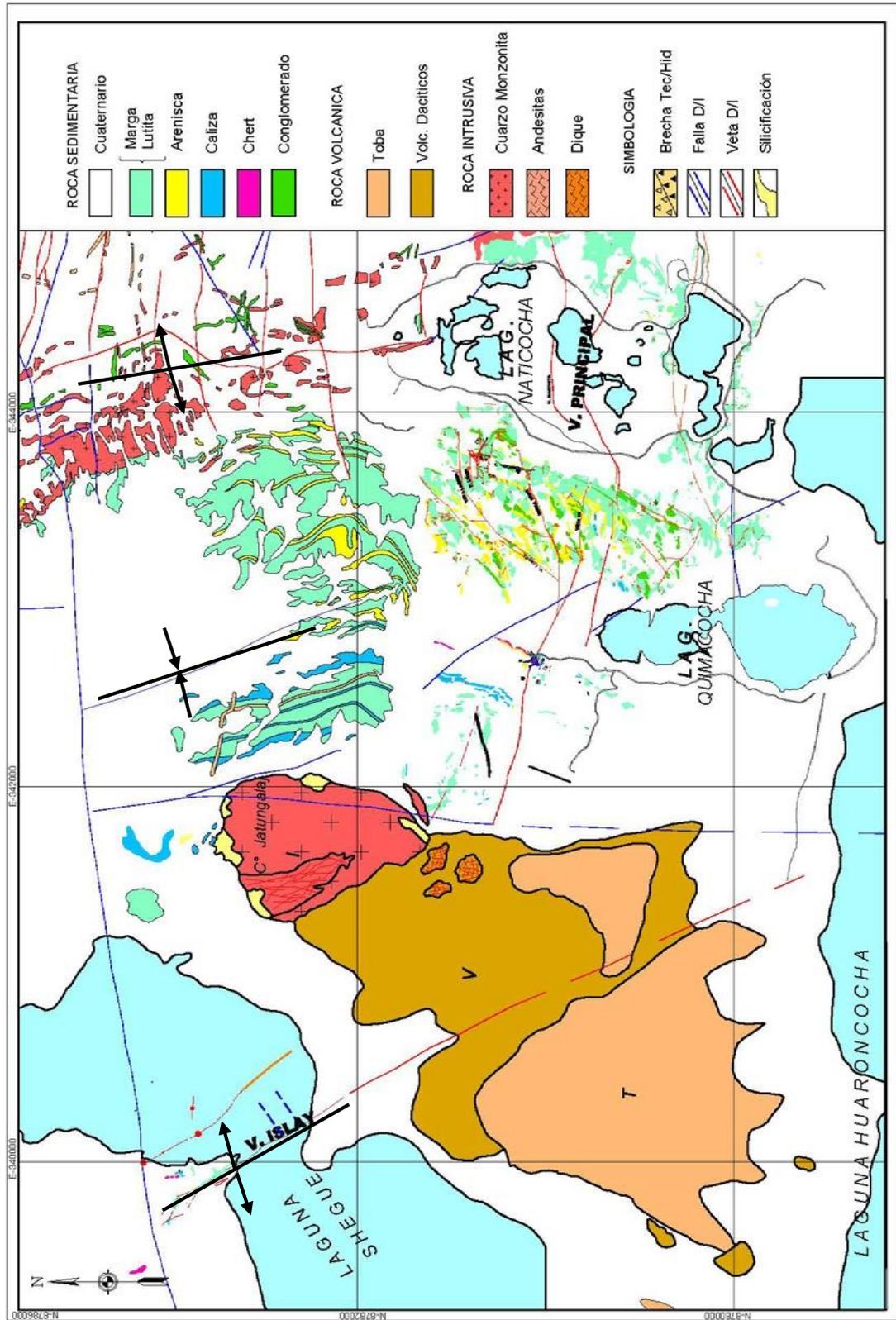
- Los diques axiales transversales intruyen la parte oriental del anticlinal. En esta zona se observan diques orientados en dirección E-W y N85°W distribuidos en una zona de 300m de ancho. Hacia el Este los diques se adelgazan y se extienden por 350-400m de longitud.
- Los diques axiales longitudinales 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 premineral, 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.



: Plano Geológico Distrital Islay (Ref. Área de Geologíaangar).

4.3 PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.3.1 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, intruidos 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 pre-existentes 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 colomorfos, 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.

GEOMETRÍA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS

La geometría de los depósitos del yacimiento de Islay está constituidos 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 Nor-Este 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 550m en Huarón, en Animón hasta 330m y en Islay hasta 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.

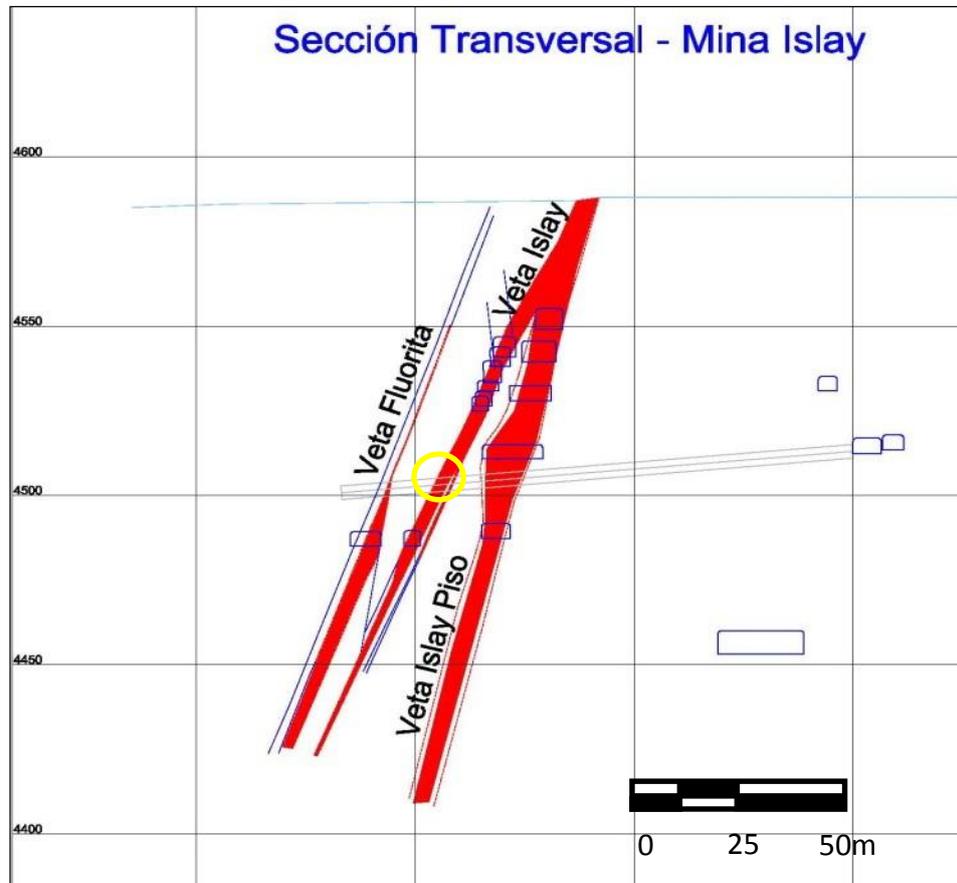
La mineralización en Islay consiste en un relleno irregular de carbonatos emplazados en fallamiento de cizalla, la mineralización consiste de sulfuros base (Pb, Zn, Cu), y Platas Rojas, dispersos en el relleno carbonatado. Las vetas hasta ahora reconocidas en Islay son tres):

La Veta Islay Piso es la más importante con 600m de largo y 250m de profundidad, buzamiento al Sur, rumbo NW-SE y potencias que llegan hasta 14m.

1. La segunda en importancia es la Veta Islay con 250m de largo y sus dos ramales que se encuentran en el extremo NW.
2. La Veta Islay Techo también conocida como Veta Fluorita, es una ramificación de la Veta Islay, con mayor potencia al norte.



Muestra de mano de la Veta Islay, con presencia de galena, esfalerita, platas rojas escasa, calcita y rodocrosita.



La mineralización se presenta con altos valores de Ag en la parte superior y disminuye rápidamente en profundidad.

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.

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 intruyen 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 megacrystales 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.

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.

Silicificación

Es una de las alteraciones más notorias y da mayor dureza a las margas. La silificación en los horizontes de chert es característica porque es favorable para la disseminación de sulfuros de mena.

Piritización

Determinada por la presencia de piritita disseminada en las rocas encajonantes, esta alteración es menor en rocas compactadas y duras

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

Cloritización

Es una característica propia de las margas del Grupo Casapalca dándole una tonalidad verdosa.

Caolinización

Debido a la alteración de los feldespatos de la monzonita, se forma el caolín de color blanquecino.

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.



Nótese la marga de color verdoso con fuerte Silicificación y moderada Cloritización.

Secuencia Paragenética

Los principales minerales de mena predominantes en el sector son esfalerita, galena, calcopirita y tetraedrita que son los minerales que aportan Zn, Pb, Cu, y Ag. Como ganga se presenta principalmente calcita, cuarzo, rodocrosita, baritina y algo de pirita.

La esfalerita es el mineral más abundante y ocurre en forma masiva e íntimamente asociada a la calcopirita de primera generación.

La alteración se circunscribe al contacto entre estructura y caja, en las que se pueden observar zonas de silicificación, argilización, cloritización y dolomitización, con presencia de venilleo de pirita-cuarzo en ciertos casos. La alteración alcanza una potencia promedio de 50cm al

contacto con estructuras de potencias anchas definidas. Las alteraciones se hacen más potentes dentro de las ramificaciones de las vetas. En superficie, las alteraciones se restringen al afloramiento de estructuras. En el caso de Quimacocha, se observa una moderada a fuerte dolomitización a manera de cuerpo pero siempre relacionada a la existencia de fracturamiento.

Es importante mencionar que los óxidos de Mn y Fe presentes en las estructuras en superficie (valores altos de Manganeso), indican una relación directa entre intemperismo y las vetas.

Eventos de Mineralización

La circulación de soluciones hidrotermales en diferentes épocas y posteriores a las respectivas reaperturas de cajas, formación de brechas y desarrollo de nuevas fracturas han originado 3 ciclos de precipitación mineral que se atribuyen esencialmente a la disminución en el contenido energético de las rocas ígneas de la zona de trabajo.

- **Primer Flujo Mineralizante**

Las soluciones hidrotermales primitivas que circulan por las primeras fracturas, que se encuentran en la parte central del distrito a temperaturas relativamente altas, depositaron en las fracturas originales cuarzo lechoso, pirita, enargita, tenantita, tetraedrita.

- **Segundo Flujo Mineralizante**

Las pulsaciones tectónicas adicionales permitieron la reapertura y ampliación de las fracturas pre-existentes y formación de otras en forma

adyacente, se produjo una nueva actividad magmática con la consecuente inyección del segundo flujo mineralizante a temperatura relativamente media, con el siguiente orden: cuarzo lechoso, pirita, marmatita, probablemente el tiempo de precipitación fue más prolongado y de enfriamiento más lento, por lo que se observan cristales de grano grueso.

- **Tercer Flujo Mineralizante**

La reactivación tectónica en una época posterior, permitió que la parte central de la zona de trabajo, se debilitara aún más y las fracturas pre-existentes se alargaran y profundizaran en forma adicional y se formaran nuevas fracturas. El brechamiento y permeabilidad de los minerales depositados permitió la circulación de nuevas soluciones hidrotermales de baja temperatura, con la precipitación de carbonatos que se inicia con la siderita y evoluciones a dolomita, rodocrosita y calcita, además de baritina, esfalerita, tetraedrita, calcopirita y finalmente proustita.

- **Tabla de Secuencia Paragenética**

La secuencia paragenética tiene tres ciclos que se mencionan a continuación:

- Primer ciclo, se precipitan minerales de alta temperatura (cuarzo lechoso, pirita, tetraedrita, tenantita).
- Segundo ciclo, minerales de mediana temperatura (cuarzo lechoso, pirita, marmatita y galena)

4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.4.1 ANÁLISIS GEOMECÁNICO EN LA ZONA DEL PROYECTO

✓ Caracterización del Macizo Rocoso.

Para la caracterización se realizó la evaluación y análisis de las de las rocas aflorantes para un conocimiento detallado de sus características; además, se realizó la valuación geomecánica del lugar donde se va a ejecutar el Raise Borer 19; mediante registros lineales.

✓ Caracterización Geomecánica de las Rocas y Minerales Según Normas de la Internacional Society for Rock Mechanics (ISRM)

La zona del proyecto se encuentra en rocas de las capas Rojas Casapalca, las cuales describiremos y caracterizaremos desde el punto de vista geomecánico a continuación:

✓ Evaluación Geomecánica Roca Marga Gris

➤ Análisis del fragmento rocoso de Marga Gris:

Por su génesis: Roca Sedimentaria detrítica, denominada Marga Gris.

Color: Gris verdoso claro.

- Dimensiones de granos componentes de la roca: limo arcillas con matriz calcárea, con venillas de calcita

rellenando micro fisuras, esporádicamente diseminaciones de pirita.

- Textura: estratificada de grano fino, equi-granulares.
- Meteorización: el fragmento de la roca caja techo, presenta intensa meteorización, alta decoloración de los planos de discontinuidad producto de la alteración de la marga roja originaria.
- Resistencia: Roca blanda a poco resistente, se raya con la uña y se fragmenta con la mano.
- Durabilidad: la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca de alto debilitamiento y desintegración al ser sumergida al agua.
- Porosidad: Es altamente porosa, poco permeable.
- Permeabilidad: primaria por poros.
- Densidad seca: 2.64 gr/cm³.
- Densidad Húmeda 2.67 gr/cm³.

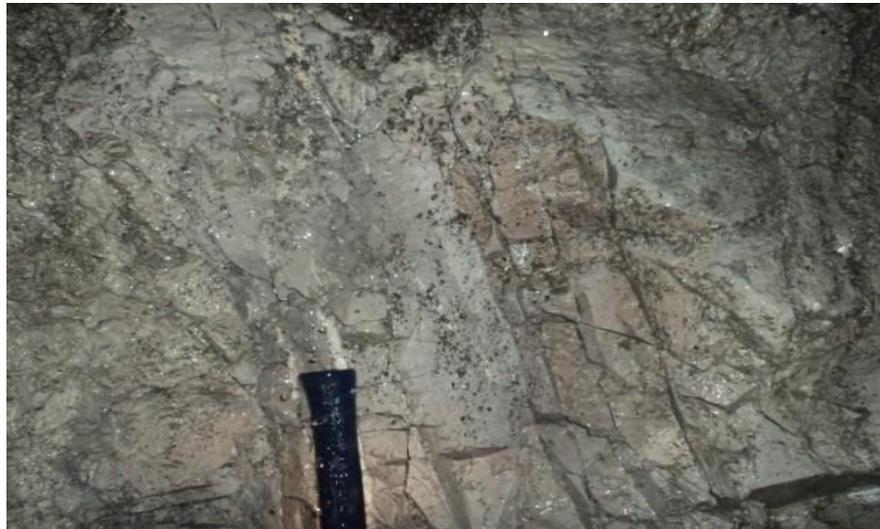


Fragmentos Marga Gris

➤ **Análisis del macizo rocoso de Marga Gris**

- Discontinuidades: Las cajas techo y piso están principalmente en contacto-falla con la veta y presenta discontinuidades (diaclasas) transversales al rumbo de la mineralización; en las vetas anchas se presenta brecha de falla (relleno de roca triturada con panizo) de hasta 0.25m de espesor, que no permite un contacto directo entre la caja techo y el mineral, formando una superficie de debilidad.
- Persistencia de discontinuidad: el contacto falla es muy alta, longitudes mayores de 20m, siguiendo el rumbo de la estructura mineralizada; las diaclasas presentan una persistencia muy baja menores de 0.10.m.
- Espaciamiento de discontinuidades: es medio entre 0.03 a 0.30m.

- Separación de las superficies de discontinuidades: extremadamente estrecha a cerrada entre 5 a 0mm.
- Rugosidad: suave a lisa ondulante en el contacto con la brecha de falla; en las diaclasas es áspera a rugosa ondulante.



Macizo rocoso Marga Gris

- Relleno de discontinuidad: Es el material que se encuentra separando las paredes de la discontinuidad, en el caso de la marga gris se tiene a la veta y a la brecha de falla como relleno; mientras que las diaclasas se tienen como relleno a la calcita, pirita, carbonatos y en algunos casos es limpia.

- Humedad y permeabilidad del relleno: los materiales de relleno están mojados, pero no existe agua libre, ni por goteo, la permeabilidad es secundaria.
- Aguas subterráneas: La circulación de aguas en las margas gris es esporádica a lo largo de las discontinuidades, manifestándose como goteo lento en zonas puntuales.
- Grado de alteración de la marga gris: la marga presenta una alteración intensa, donde la decoloración es total cuya manifestación se representa de marga roja a gris clara a gris verdosa; además, presenta debilidad en todo el fragmento rocoso.
- Número de familias de discontinuidades: La marga gris, presenta de cuatro a cinco sistemas de discontinuidades siendo predominante la que es paralela a las estructuras mineralizadas; estos forman bloques tridimensionales que tienen más grado de libertad para la deformación del macizo; en estos casos no se observa las discontinuidades hacia adentro de la caja techo que si presenta, esto es conocida como fallas ocultas, que están siendo movidos por empujes laterales producto de los esfuerzos del macizo rocoso (ver formación y desprendimientos de cuñas y agentes estabilizadores de rocas).

- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: las uniones entre los fragmentos determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso son romboedros formados por las tres familias de discontinuidades aproximadamente ortogonales; que forman fragmentos equi-dimensionales.
- Grado de fracturamiento: la caja techo es Intensamente Fracturada (IF), que forman fragmentos pequeños con una densidad de más de 20 diaclasas por metro cúbico.

✓ **Evaluación Geomecánica Roca Marga Roja**

➤ **Análisis del fragmento rocoso de Marga Roja**

- Por su génesis: Roca sedimentaria detrítica, denominada Marga roja. color: rojo grisáceo claro a rojo violáceo claro.



Fragmento Marga roja

- Dimensiones de granos componentes de la roca: limo-arcilla calcáreo.
- Textura: grano fino a hojuelas sub horizontales.
- Meteorización: el fragmento de roca no presenta meteorización.
- Resistencia: Roca es medianamente resistente, se raya con la cuchilla.
- Durabilidad: la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca de bajo debilitamiento al ser sumergida al agua.
- Porosidad: es porosa.
- Permeabilidad: primaria, impermeable.
- Densidad seca: 2.70 gr./cm³.
- Densidad húmeda: 2.73 gr./cm³.

➤ **Análisis del macizo rocoso de Marga Roja:**

- **Discontinuidades:** La marga roja presenta diaclasas longitudinales y transversales al rumbo de la mineralización; es intensa la ocurrencia de estas discontinuidades.
- **Persistencia de discontinuidad:** Si es que presenta falla geológica la persistencia es alta, longitudes mayores de 20m, siguiendo el rumbo de la falla; las diaclasas presentan una persistencia muy baja menores de 0.30m.
- **Espaciamiento de discontinuidades:** Es bajo entre 0.03 a 0.25m.
- **Separación de las superficies de discontinuidades:** Es estrecha a cerrada entre 2 a 0.0mm.
- **Rugosidad:** Suave a lisa ondulante en las diaclasas y el contacto litológico es áspera a rugosa ondulante.
- **Relleno de discontinuidad:** Es el material que se encuentra separando las paredes de la discontinuidad, en el caso de la marga roja tenemos de calcita, pátinas de arcillas, limpia y carbonatos.
- **Humedad y permeabilidad del relleno:** Los materiales de relleno están humedecidos, en algunos casos se presenta goteos, la permeabilidad es secundaria.

- **Aguas subterráneas:** La manifestación es por goteo y esporádicamente en flujos pequeños, hasta que se deprima las aguas fósiles entrampada en las fisuras.
- **Grado de alteración:** en la marga roja la alteración es insipiente a ligera, principalmente en los planos de discontinuidad, manifestándose por una decoloración grisácea.
- **Número de familias de discontinuidades:** la marga roja presenta cuatro sistemas de discontinuidades más una aleatoria, siendo predominante la que es paralela a la estructura mineralizada cercana y los planos de estratificación, estos forman bloques tridimensionales que tienen más grado de libertad para la deformación del macizo; estas familias forman las fallas ocultas, si es que no se controla con un sostenimiento adecuado son movidos por esfuerzos del macizo hacia las labores.
- **Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento:** Estas características entre los bloques determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso tienen la forma cúbica a romboedros; las cinco familias de discontinuidades, forman fragmentos heterodimensionales.

- **Grado de fracturamiento y tamaño de los bloques:** La marga roja en todo el yacimiento se presenta generalmente Muy Fracturado (MF) a Intensamente Fracturado (IF), en fragmentos pequeños con una densidad mayor de 20 diaclasas por metro cúbico.
- ✓ **Evaluación Geomecánica Roca Conglomerado**
- **Análisis del fragmento rocoso del Conglomerado**
 - **Por su génesis:** Roca sedimentaria detrítica denominada Conglomerado.
 - **Color:** gris claro a marrón grisáceo oscuro.
 - **Dimensiones de granos componentes de la roca:** Compuesta por fragmentos de cantos rodados, de distintas dimensiones en una matriz areno gravoso o limo-arcilla calcáreo.
 - **Textura:** granular.
 - **Meteorización:** el fragmento de roca no presenta meteorización.
 - **Resistencia:** Poco resistente a muy resistente.
 - **Durabilidad:** la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca que no presenta debilitamiento al ser sumergida al agua.



Fragmento de roca Conglomerado.

- **Porosidad:** es muy porosa.
 - **Permeabilidad:** presenta permeabilidad primaria y muy permeable.
 - **Densidad seca:** 2.65 gr./cm³.
 - **Densidad húmeda:** 2.67 gr./cm³.
- **Análisis del macizo rocoso del Conglomerado**
- **Discontinuidades:** El conglomerado no presenta discontinuidades notables y si es que eso ocurriera es irregular y discontinua
 - Persistencia de discontinuidad: no identificado.
 - Espaciamiento de discontinuidades: es alto mayor de 3.0m.

- Separación de las superficies de discontinuidades: es cerrada
0.0mm.
- Rugosidad: muy rugosa y ondulante.
- Relleno de discontinuidad: cuarzo, calcita, arenas y carbonatos.
- Humedad y permeabilidad del relleno: los materiales de relleno están humedecidos, dentro de la mina presenta goteos, la permeabilidad es primaria.
- Aguas subterráneas: La manifestación es por goteo y esporádicamente en flujos, hasta que se deprima las aguas fósiles entrampada en los intersticios de la roca.
- Grado de alteración: En el conglomerado la alteración es insipiente a ligera, principalmente en la matriz arenosa.
- Número de familias de discontinuidades: el conglomerado presenta dos sistemas de discontinuidades, siendo predominante la que es paralela a los planos de estratificación, estos forman bloques tabulares.
- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: estas características entre los bloques determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso tienen la forma de

bancos tabulares; las dos familias no forman cuñas que inestabilicen las labores.

- Grado de fracturamiento y tamaño de los bloques: en el conglomerado en fracturamiento es esporádico y forman en bloques grandes y tabulares.

✓ **Evaluación Geomecánica Roca Arenisca**

➤ **Análisis del fragmento rocoso de arenisca**

Por su génesis: Roca sedimentaria detrítica denominada arenisca.

Color: gris verdoso claro a gris rojizo claro.

- Dimensiones de granos componentes de la roca: arenas de grano fino a medio, en algunos casos en una matriz calcárea o limo-arcilla, en estratos concordantes con la marga.



Fragmentos y testigos de areniscas.

- **Textura:** granular.
 - **Meteorización:** el fragmento de roca presenta ligera meteorización.
 - **Resistencia:** Es resistente a muy resistente.
 - **Durabilidad:** la prueba de duración que se realizó a los especímenes nos indica que es una roca que no presenta debilitamiento al ser sumergida al agua.
 - **Densidad seca:** 2.73 gr./cm^3 . Y Densidad húmeda: 2.74 gr./cm^3 .
- **Análisis del macizo rocoso de la arenisca**
- **Discontinuidades:** la arenisca presenta discontinuidades notables, como los planos de estratificación y fracturas continuas.

- Persistencia de discontinuidad: si la arenisca presenta falla geológica la persistencia es alta, longitudes mayores de 10m, siguiendo el rumbo de la falla; las diaclasas presentan una persistencia baja menores de 0.30 m.
- Espaciamiento de discontinuidades: es bajo entre 0.05 a 0.30 m.
- Separación de las superficies de discontinuidades: es estrecha a cerrada entre 2 a 0.0 mm.
- Rugosidad: moderada a rugosa en las diaclasas y el contacto.
- Relleno de discontinuidad: es el material que se encuentra separando las paredes de la discontinuidad, en el caso de la arenisca tenemos relleno de calcita, pátinas de óxidos, limpia y carbonatos.
- Humedad y permeabilidad del relleno: Los materiales de relleno están humedecidos, en algunos casos se presenta goteos, la permeabilidad es primaria.
- Aguas subterráneas: La manifestación es por goteo y esporádicamente en flujos pequeños, hasta que se deprima las aguas fósiles entrampada en los poros y las fisuras.
- Grado de alteración: En la arenisca la alteración es insipiente a ligera, principalmente en los planos de

discontinuidad, manifestándose por una decoloración rojiza.

- Número de familias de discontinuidades: La arenisca presenta tres a cuatro sistemas de discontinuidad, siendo predominante la que es paralela a la estructura mineralizada cercana y los planos de estratificación, estos forman bloques tridimensionales.
- Tamaño de bloques y la resistencia al cizallamiento: estas características entre los bloques determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso tienen la forma cúbica a romboedros.
- Grado de fracturamiento y tamaño de los bloques: La arenisca del yacimiento se presenta generalmente Fracturado (F) a Muy Fracturado (MF), en fragmentos pequeños con una densidad mayor de 15 diaclasas por metro cúbico; formando fragmentos pequeños hasta medianos.

✓ **AGUAS SUBTERRÁNEAS**

La presencia de agua subterránea es principalmente por permeabilidad secundaria; la cantidad de agua se define por las condiciones observadas en la zona; con los parámetros:

- Húmedas (H) <25 lt/min en 10 metros de labor.
- Flujos (F): Ligeras > 25 lt/min en 10 metros de labor.
- Fuertes: > 125 lt/min en 10 metros de labor.

✓ **AGENTES INESTABILIZADORES DE ROCAS QUE OCASIONAN DESPRENDIMIENTOS O DERRUMBES**

✓ **Condición de Estabilidad General**

Orientación de las discontinuidades vs. Orientación del Raise

Borer

Dip Dirección (°)	Dip (°)	Descripción Inclinación	Condición de ejecución
Cualquiera	0 – 20	Sub horizontal	Desfavorable
0 – 30	20 – 45	A favor del avance	Favorable
	45 – 90		Muy favorable
	20 – 45	En contra del Avance	Desfavorable
	45 – 90		Regular
30 – 65			Regular
65 – 90	20 – 45	Regular	Regular
	45 – 90	Fuerte	Muy desfavorable

Fuente: G. Rivera Torres, U. de Chile

✓ Tipo del Terreno a Excavar

El macizo rocoso está conformado por margas grises, rojas, areniscas y conglomerados y las características del macizo rocoso donde se ejecutará la excavación es del tipo 5 al 2, presentando un RMR que varía de 19 a 75 lo que nos indica que es un material de mala a buena por lo que se debe realizar una perforación controlada y realizar el sostenimiento preventivo con concreto lanzado de 2". Las características de la excavación son:

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. Sus características físicas son:

Densidad (d) = 2.0 a 2.2

Resistencia a la compresión (Rc) = 00 hasta 25 Mpa

Resistencia a la Tracción (R_t) = 00 hasta 2,3 Mpa

Angulo de fricción (ϕ) = $< 32^\circ$

Parámetros considerados:

RQD	Índice de calidad de roca	15 – 25%
Jn	Nº de familias de discontinuidades	12 – 9
Jr	Rugosidad planos de discontinuidades	0.5 – 1.5
Ja	Alteración de discontinuidades	8 - 4
Jw	Presencia de agua	1.0
SRF	Factor de reducción de Esfuerzos	10 - 5
Q	RQD/Jn x Jr/Ja x Jw/SRF	
Q	Entre: 0.008 a 0.208	

Tipo de Roca Excepcionalmente Mala a Muy Mala

Ensayos Geomecánicos

Ensayos de Corte Directo:

Ángulo de Fricción Residual ($^\circ$) De 30.79 a 28.53

Cohesión (MPa) De 0.042 a 0.134

Propiedades Físicas:

Densidad Seca (gr./cm^3) De 2.08 a 2.64

Densidad Húmeda (gr./cm^3) De 2.20 a 2.67

Porosidad Aparente (%) De 11.53 a 2.90
Absorción (%) De 5.54 a 1.10
Peso Específico Aparente (KN/m³) De 20.39 a
25.85

Ensayos de Compresión Simple

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm²)
De 108.78 a 786.74

Resistencia a la Compresión Simple (MPa)
De 10.66 a 77.10

Ensayos de Propiedades Elásticas:

Módulo de Young (GPa)
De 3.61 a 10.26

Poisson De 0.33 a 0.30

Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero)

Resistencia a la Tracción (MPa)
De 3.61 a 10.26

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.

Sus propiedades físicas son:

Densidad (d) = 2.70

Resistencia a la compresión (Rc) = 45 hasta 80 Mpa.

Resistencia a la Tracción (Rt) = 1,5 a 3,0 Mpa.

Ángulo de fricción (ϕ) = Entre 20° a 30°.

Parámetros considerados:

RQD	Índice de calidad de roca	15 – 45%
Jn	Nº de familias de discontinuidades	12 – 6
Jr	Rugosidad planos de discontinuidades	1 – 2
Ja	Alteración de discontinuidades	2 – 1
Jw	Presencia de agua	1.0
SRF	Factor de reducción de Esfuerzos	10 – 2.5
Q	RQD/Jn x Jr/Ja x Jw/SRF	
Q	Entre: 0.06 a 6	

Tipo de Roca Extremadamente Mala a Regular.



Tipo de Roca Marga Roja

Ensayos Geomecánicos

Ensayos de Corte Directo:

Angulo de Fricción Residual (°)	27.3
Cohesión (MPa)	0.11

Propiedades Físicas:

Densidad Húmeda (gr./cm ³)	2.73
Porosidad Aparente (%)	2.23
Absorción (%)	0.83
Peso Específico Aparente	26.50

Ensayos de Compresión Simple:

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	813.16
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	79.69

Ensayos de Propiedades Elásticas:

Módulo de Young (GPa)	11.03
-----------------------	-------

Poisson 0.30

Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero):

Resistencia a la Tracción (MPa) 1.75

Conglomerado

Conformado por fragmentos redondeados y heterométricos de caliza, cuarcita y volcánicos, dentro de una matriz areno gravosa calcárea; se presenta aisladamente en estratos paralelos a la arenisca 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.

Sus características físicas son:

Densidad (d) = 2.65

Resistencia a la compresión (Rc) = 35 hasta 100 Mpa

Resistencia a la Tracción (Rt) = 2,4 a 5,8 Mpa

Ángulo de fricción (ϕ) = 26 a 32°

Parámetros considerados:

RQD	Índice de calidad de roca	35 – 80%
Jn	Nº. de familias de discontinuidades	6 – 3

Jr	Rugosidad planos de discontinuidades	3 – 4
Ja	Alteración de discontinuidades	2 – 1
Jw	Presencia de agua	1.0
SRF	Factor de reducción de Esfuerzos	5 - 2.5

Q	$RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$
Q	Entre: 1.75 a 43

Ensayos Geomecánicos:

Ensayos de Corte Directo:

Ángulo de Fricción Residual (°)	26.34
Cohesión (MPa)	0.145

Propiedades Físicas:

Densidad Seca (gr./cm ³)	2.65
Densidad Húmeda (gr./cm ³)	2.67
Porosidad Aparente (%)	2.34
Absorción (%)	0.89
Peso Específico Aparente (KN/m ³)	25.93

Ensayos de Compresión Simple:

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm²) 447.10

Resistencia a la Compresión Simple (MPa) 43.82

Ensayos de Propiedades Elásticas:

Módulo de Young (GPa) 5.70

Poisson 0.33

Ensayos de Tracción Indirecta (brasileño):

Resistencia a la Tracción (MPa) 2.40

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.

Sus características físicas son:

Densidad (d) = 2.73

Resistencia a la compresión (Rc) = 50 hasta 100 Mpa

Resistencia a la Tracción (Rt) = 2,8 a 8,3 Mpa

Ángulo de fricción (ϕ) = 26° a 35°

Parámetros considerados:

RQD	Índice de calidad de roca	25 – 70%
Jn	Nº. de familias de discontinuidades	9 – 3
Jr	Rugosidad planos de discontinuidades	1 – 3
Ja	Alteración de discontinuidades	3 – 1
Jw	Presencia de agua	1.0
SRF	Factor de reducción de Esfuerzos	10 – 5

Q	$RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$
Q	Entre: 0.09 a 14

Tipo de Roca	Extremadamente Mala a Buena
--------------	-----------------------------



TIPO DE ROCA

Arenisca

Ensayos Geomecánicos:

Ensayos de Corte Directo:

Ángulo de Fricción Residual ($^{\circ}$)	26.57
Cohesión (MPa)	0.114

Propiedades Físicas:

Densidad Seca (gr./cm ³)	2.73
Densidad Húmeda (gr./cm ³)	2.74
Porosidad Aparente (%)	1.36
Absorción (%)	0.50
Peso Específico Aparente (KN/m ³)	26.71

Ensayos de Compresión Simple:

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm ²)	936.77
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	91.80

Ensayos de Propiedades Elásticas

Módulo de Young (GPa)	9.59
Poisson	0.31

Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero)

Resistencia a la Tracción (MPa)	5.07
---------------------------------	------

Marga Gris

Es el terreno que requiere sostenimiento en forma permanente.

En zona donde el macizo rocoso es extremadamente mala. Es necesario realizar inyecciones antes de realizar la construcción del raise borer

Marga Roja

Este tipo de terreno es el más estable de todas las margas, no requiere mucho sostenimiento y es característico de toda la geología regional, se presenta en toda la longitud del túnel, en tramos mayores desde 150 a 200 m., de no ser por la presencia de fallas y contactos con otros tipos de rocas, sería más fácil su control, y aumentaría en la productividad al momento de ejecutar el túnel.

Conglomerado

Este tipo de terreno es más estable que las margas y se presentan en forma de bolsonadas o paquetes de hasta 40 mt de longitud, en todo el trayecto del túnel en forma esporádica. El área de Geomecanica realizara un seguimiento diario de la labor según cómo avanza, es ahí donde se determinará el tipo de sostenimiento adecuado para los contactos y/o presencia de fallas en todo el trayecto del túnel.

Areniscas

No requiere ningún tipo de sostenimiento, es el más estable y competente de todos los tipos de terreno que se encuentran a lo largo del túnel, se presentan en forma de bolsonadas o paquetes de hasta 60 mt de longitud, en forma esporádica y no requiere ningún tipo de sostenimiento por la dureza y tenacidad que presenta la roca. En presencia de fallas y contactos con otros tipos de rocas, se colocarán el sostenimiento mencionado ya líneas arriba y según la evaluación de geomecánica, como bien se sabe en una excavación subterránea, se encuentra la presencia de diferentes tipos de rocas, fallas, contactos, juntas y diaclasas, es ahí donde se empleará el tipo de sostenimiento adecuado y recomendado.

CONCLUSIONES

- El macizo rocoso involucrado en la ejecución del desarrollo vertical, está constituido de areniscas cuarzosas con ligeras intercalaciones de lutitas marrones a negruzcas.
- En la columna litológica predomina la arenisca con ocurrencia de bancos de margas y conglomerados.
- Las clasificaciones geomecánicas identifican que el desarrollo vertical se excavara principalmente en roca buena a mala calidad.
- Con los métodos de excavación de desarrollos verticales en los cuales se emplea explosivo no se puede garantizar la estabilidad del macizo rocoso.
- Método de perforación de chimenea utilizando Raise Borer ofrece una factibilidad de ejecución, aceptable.
- Las inyecciones de cemento se disminuyen y controla la inestabilidad del macizo rocoso.
- Utilizando en método de perforación Raise Borer, después de realizar las inyecciones se llega a mejora la estabilidad del macizo rocoso en el desarrollo vertical.

RECOMENDACIONES

- La perforación con REASE BORER, se recomienda en casos donde las condiciones geotécnicas son estables, en casos donde no existe estabilidad, se puede realizar inyecciones de cemento, considerando que no exista corrientes de aguas internas.
- Se debe tener en cuenta, que se requiere de un acceso adecuado para la instalación de la máquina perforadora. Y la eliminación de lodos producidos por la perforación.
- De ser necesario se puede incluir inyecciones auxiliares para obtener mayor resistencia, según el requerimiento de diseño para la cual se utilizará la chimenea.
- Cuando se realiza el proceso de inyección, ocurren atascamientos lo cual afecta en tiempo y en costos el proceso, para evitar este contratiempo, se debe de seleccionar personal calificado y con experiencia en el proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arenas Santiago, Año 2005. "Equipos de última generación para perforación subterránea" Atlas Copco, Lima. Pág.30.
2. Caro, Jorge, Año 2005. "Rendimiento de las emulsiones encartuchadas en labores subterráneas", Famesa Explosivos SAC.
3. CESEL Ingeniero, Año 2009 — Informe Final Consultoría para evaluación Geológica y Geotécnica- Perú.
4. Hoek E, Brown E. T. Año 1985 "Excavaciones subterráneas en rocas". Mc. Graw Hill. México
5. Miranda, M. Año 2001. "Mineralogía de veta y alteraciones relacionadas a zonas auríferas Mina Antapite", informe interno. Pág. 14.
6. Poma Rique, Porfirio B., Año 2005 — "Geomecánica Origen y Prevención de Caídas de Rocas en Minería Subterránea" — Perú.
7. Rambaud Pérez, Camilo, Año 1987 — "Manual de sondeos" tecnología de perforación. España
8. Rojas, Juan, Año 1992. "Estudio comparativo del método de explotación Corte y Relleno y. Shrinkage Mina Santa Bárbara" Tesis UNJBG
9. <http://www.miliarium.com/monografias/tuneles/welcome.asp>
10. [http://es.scribd.com/doc/39217939/Drenaje Túneles Implicaciones Constructivas](http://es.scribd.com/doc/39217939/Drenaje_Tuneles_Implicaciones_Constructivas)
11. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2792/Capitulo4.pdf>
12. <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/11/tipos-de-investigacion-segunander-egg.html>

ANEXO

