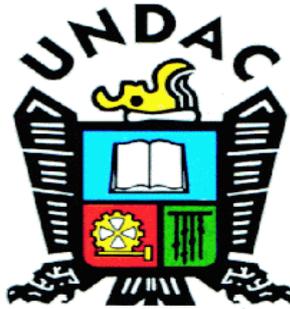


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES  
CARRIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA**



**“ANÁLISIS GEOMECÁNICO DEL TÚNEL DE  
INTEGRACIÓN ANIMON- ISLAY”**

**TESIS**

**Para Optar el Título de Ingeniero Geólogo**

**Presentado Por:**

**Bach. CAJALEÓN AMBROSIO, Meril Einstein**

***Asesor: Dr. Tito Marcial, ARIAS ARZAPALO***

***CERRO DE PASCO – PERÚ***

***2018***



## **DEDICATORIA**

### **A mis padres:**

Que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar mi meta, desde el cielo guías mis pasos mamá

### **A mis hermanos:**

Gracias a su apoyo y cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida este logro también es tu yo Mari

### **A mi asesor:**

Por el tiempo dedicación y esmero en la elaboración de este documento

### **A mis colegas:**

Gracias por el apoyo incondicional y por esta hermosa amistad

### **A ti:**

Gracias por el apoyo, confianza, que me has dado en los momentos difíciles

## RESUMEN

El proyecto se realiza para integrar los procesos de operación e incrementar los recursos minerales de dos concesiones mineras; Animon e Islay, se toman como referencia los estudios de la Empresa Administradora Chungar; se considera la información recopilada en la mina: geomorfología, la toma de datos de las estructuras geológicas, del macizo rocoso, ensayos de laboratorio, diseños adecuados para determinar las condiciones geomecánicas del túnel.

El túnel casi en su integridad se encuentra en rocas sedimentarias y estas presentan gran heterogeneidad en cuanto a sus propiedades geológico - geomecánicas. Es preciso hacer notar el alto grado de fracturamiento y alteración argílica de las rocas encajonantes de las vetas y del macizo rocoso del yacimiento; además, las estructuras mineralizadas presentan alteración y fallas geológicas post mineralización que le hacen inestable.

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.

Las estructuras mineralizadas de la zona se encuentran muy sinuosas en forma horizontalidad y vertical, tal como se observa en las distintas labores ya ejecutadas, el ancho de la estructura es muy variable que va desde 2.50m hasta 20.0m, con buzamientos que varían desde de 35° hasta 85° hacia el Sur como hacia el Norte.

## ÍNDICE

### DEDICATORIA

### RESUMEN

### ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### CAPITULO I

- 1.1. Determinación del problema
- 1.2. Formulación del problema
- 1.3. Objetivos
  - 1.3.1. Objetivos Generales
  - 1.3.2. Objetivos Específicos
- 1.4. Justificación del problema
- 1.5. Importancia y justificación de la investigación
- 1.6. Limitaciones

### MARCO TEÓRICO

#### CAPITULO II

- 2.1. Antecedentes
- 2.2. Bases teóricas – científicos
- 2.3. Definición de términos
- 2.4. Hipótesis Genéricos y Específicos
- 2.5. Identificación de las Variables
  - 2.5.1. Variables independientes
  - 2.5.2. Variables dependientes
  - 2.5.3. Variables interdependientes

### METODOLOGÍA

#### CAPITULO III

- 3.1. Tipo de investigación
- 3.2. Diseño de investigación
- 3.3. Población de muestra
- 3.4. Método de investigación
- 3.5. Técnicas instrumentales de recolección de datos
- 3.6. Técnica de procesamiento y análisis de datos

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### CAPITULO IV

- 4.1. Ubicación
- 4.2. Accesibilidad
- 4.3. Reseña histórica
- 4.4. Fisiografía
- 4.5. Geomorfología
- 4.6. Drenaje
- 4.7. Clima
- 4.8. Flora y fauna
- 4.9. Recursos naturales
- 4.10. geología regional
  - 4.10.1. Generalidades
  - 4.10.1. Estratigrafía
  - 4.10.1. Rocas intrusivas
  - 4.10.1. Geología estructural
  - 4.10.1. Geología local
  - 4.10.1. Mineralización
  - 4.10.1. Análisis del tipo de sostenimiento túnel proyecto de construcción del túnel de integración

### CONCLUSIÓN

### RECOMENDACIONES

## INTRODUCCIÓN

El sostenimiento subterráneo en la explotación de una mina involucra una serie de factores y problemas de mecánica de rocas, que si no se consideran con antelación y no se estudia a profundidad pueden alterar significativamente las características de la operación minera, por esa razón es importante realizar una evaluación geomecánica del túnel de integración.

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.

Para construir el túnel de integración son relevantes el sistema de información geomecánica, relacionado a las características del comportamiento mecánico de la masa rocosa y sus componentes además es importante los ensayos de laboratorio y los ensayos insitu, con la finalidad de determinar las propiedades físico mecánicas de las rocas y minerales.

La mina Islay se encuentra a 4600 msnm en la región Pasco del Perú; donde la temperatura es muy variable desde  $-10^{\circ}\text{C}$  en las noches hasta  $30^{\circ}\text{C}$  en el día; con una temperatura ambiente medio de  $8^{\circ}\text{C}$ . 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 fue un procedimiento difícil, lento y no adecuado, hasta que se empezó a utilizar Shotcrete y pernos de compresión y fricción axial que hacen el sostenimiento subterráneo sencillo y eficaz.

El presente estudio está orientado a realizar un análisis de la estabilidad del túnel de integración Animon-Islay para determinar la calidad del macizo rocoso y las estructuras mineralizadas para determinar el tipo de sostenimiento basado en las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y las estructurales mineralizadas para generar una estabilidad en el túnel.

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## CAPITULO I

### 1.1. Determinación del problema

Un túnel es una labor subterránea cuyo propósito es transportar mineral, es una estructura que sirve como drenaje de aguas subterráneas, transporta relaves de la planta hacia la mina Islay, además crea zonas de exploración para incrementar recursos, por lo que, un mal diseño de un sostenimiento del túnel hace peligrar la labor subterránea, provocando caída de rocas, deslizamientos de cuñas de rocas del techo o hastiales, ocasionando en las operaciones mineras altos costos con una paralización temporal en los trabajos, elevándose el costo en el mantenimiento del mismo, ocasionando pérdidas de materiales, equipos y humanas.

Por lo tanto, es importante realizar un buen diseño del tipo de sostenimiento para que la planificación se cumpla con lo programado, para eso es importante estudiar la serie de factores condicionantes y problemas de mecánica de rocas que controlan el tipo de sostenimiento que si no se toman en cuenta pueden alterar significativamente las operaciones mineras.

En el planeamiento de minado anual se considera la construcción y/o ejecución del túnel, por lo que es necesario, la cuantificación de las características geomecánicas del macizo rocoso, teniendo una justificación técnico- económica para una explotación racional, segura y rentable.

Islay es una mina que produce concentrados de zinc, plomo y cobre. Se encuentra relacionada a una intensa actividad tectónica, la mineralización está ubicado en rocas sedimentarias del terciario inferior del grupo Casapalca (Capas Rojas). Los depósitos minerales están constituidos principalmente por vetas, las cuales se distribuyen en dos sistemas convergentes: ambos con dirección Este-Oeste pero con buzamiento al Norte y el otro con buzamiento al Sur.

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.

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.

Para la explotación se recomendó el método de Corte y Relleno Ascendente con voladura en Breasting, esto permite la recuperación del mineral con bastante seguridad con una producción estimada de hasta 5000 TM/día; la bondad de este método es que nos permite recuperar todo el mineral de forma ordenada, con baja dilución, rápida, segura y con una adecuada aplicación de sostenimiento.

## 1.2. Formulación del problema

¿El análisis geomecánico determinara el tipo de sostenimiento del túnel de integración Animon- Islay?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivos Generales

El objetivo de la presente investigación es:

Determinar el tipo de sostenimiento subterráneo de acuerdo a la calidad del macizo rocoso y las estructuras mineralizadas en el túnel de integración Animon- Islay.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

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

### 1.4. Justificación del problema

El presente trabajo se realiza para brindar una solución integral de seguridad minera, para determinar la calidad del macizo rocoso y determinar el posible sostenimiento que debe implementarse en el túnel y presentar como tesis a la UNDAC.

### 1.5. Importancia y justificación de la investigación

Este trabajo de tesis se justifica por la importancia de estudiar los tipos de sostenimiento que deben implementarse en túneles subterráneos como labor minera para contribuir a una explotación con una seguridad minera que genere una explotación sin pérdidas humanas y económicas, lográndose con ello una continua operación minera.

### 1.6. Limitaciones

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

## MARCO TEÓRICO

### CAPITULO II

#### 2.1. Antecedentes

En la mina Animon se cuenta con un túnel de drenaje Paul Nevejans, que es la continuación del túnel insomnio. Considerando que el Túnel Paúl Nevejans recorre de este-oeste y norte sur hasta el límite de las concesiones de Huarón con la mina Animón, en el año 1961 se firmó un Convenio de Servidumbre de Aguas para que la mina Animón pudiera hacer uso del Túnel Nevejans y realizar su drenaje. Para ello, se excavó el Túnel “INSOMNIO” nivel 250 desde el Pique Montenegro en concesiones mineras de Empresa Administradora Chungar Sac. En el límite de las concesiones con Huarón se excavó una chimenea de 12m. Aproximadamente de longitud para integrar ambas excavaciones. El 14 de Septiembre del año 2000 debido a la transferencia de las acciones y propiedades de la Empresa Administradora Chungar S.A.C A Volcan S.A.A, se firmó El Convenio de Servidumbre de Aguas entre Compañía Minera Huarón S.A. y Empresa Administradora Chungar S.A.C.

A su vez, con la transferencia de las Acciones de Cía. Minera HUARÓN (Propiedad del Grupo Hochschild) a Pan American Silver, en el año 2,000 se reiniciaron los trabajos de rehabilitación del túnel, habiendo llegado en la actualidad a la Progresiva 8+000.

#### *Túnel de drenaje de Chuquicamata Chile*

El yacimiento Chuquicamata ha sido conocido desde el siglo XIX, corresponde al principal depósito de cobre y molibdeno de la División Codelco Norte, ubicado en la pre cordillera del Norte de Chile. En sus orígenes pequeños mineros explotaron óxidos superficiales y vetas de óxidos de alta ley. A partir del año 1915 se inicia la explotación a escala industrial de los óxidos, mediante el rajo Chuquicamata. Desde la década de 1930 se incorpora el beneficio de minerales mixtos (óxidos de cobre y sulfuros de cobre). En los años cincuenta, con la instalación de la planta de flotación comienza la explotación de los sulfuros de cobre. A la fecha ha producido aproximadamente 34 millones de toneladas de cobre fino.



### **Vista general hacia el Norte de la Mina Chuquicamata**

La progresiva profundización y expansión lateral del rajo Chuquicamata ha resultado en un incremento de la relación estéril: mineral. , relación que en el futuro se proyecta hará su explotación, económicamente inviable, tomando en cuenta que Chuquicamata es una mina de cobre con una profundización actual sobre los 1.000m.

Entre los años 2001 a 2003 se realizaron campañas de sondajes desde superficie para reconocer del cuerpo mineralizado bajo el pit final, denominado Sulfuros Profundos. Su resultado confirmó la ocurrencia de mineralización económica en profundidad. A partir del año 2003 Codelco Norte ha desarrollado un proyecto de inversión, cuyo principal objetivo es obtener información geológica, geotécnica y geometalúrgica, que permita sustentar un estudio de factibilidad de una mina subterránea, bajo el rajo Chuquicamata. El proyecto incluyó el desarrollo de una rampa de exploración subterránea de 3.200 m, que baja con una pendiente de 15% desde el Banco M-3 del rajo Chuquicamata a 2.400 m. s. n. m., hasta la cota 1.943 m. s. n. m.

Entre los años 2004 y 2005, como parte del Plan de Drenaje y despresurización del Talud Este de la Mina Chuquicamata se realizó la excavación del Túnel de Drenaje de 2.650 m de largo, iniciado desde el metraje 575 de la Rampa de Exploración. La suma de ambos proyectos permitió establecer bajo el fondo del rajo 7.400m de túneles, incluyendo labores anexas, entre las cotas 2.400 m. s. n. m. y 1.941m. s. n. m. La mayor parte de estos desarrollos se extendieron en la

periferia Este del cuerpo mineralizado de los Sulfuros Profundos, cuyo objetivo principal es caracterizar las condiciones geotécnicas y estructurales del macizo rocoso en que se han desarrollado aproximadamente 6.200 m de túneles, en el ámbito de la Rampa de Exploración y el Túnel de Drenaje, con el propósito de definir, durante su construcción, empíricamente la fortificación adecuada y suficiente para asegurar la estabilidad de estas labores subterráneas. Como objetivos específicos se tiene: Compilar el levantamiento geotécnico de los túneles y aplicar el sistema de clasificación de Barton (1974) a la definición de soporte, Analizar la distribución de las estructuras y su relación con las condiciones de estabilidad actual y futuras de los túneles de acuerdo con sus características geológico-geotécnicas.

El Túnel de Drenaje de 2.650 m de extensión y una pendiente general de 15%, se ha desarrollado en el sector Central Norte del yacimiento Chuquicamata, principalmente en el Pórfido Este y en menor proporción en los metasedimentos. En él se distinguen tres unidades geotécnicas (U.G.) correspondientes al Pórfido Este Clorítico (PEC) con un 28,9% de la extensión del túnel, el Pórfido Este Potásico (PEK) correspondiente al 55,1% de la extensión del túnel, preferentemente en el sector Norte del yacimiento y la unidad de Metasedimentos (MET) con un 16% del túnel.

## 2.2. Bases teóricas – científicos

### **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**

Para la evaluación del túnel consideramos los siguientes principios y metodologías:

- Propiedades Físico Mecánicas de las Rocas.

- Propiedades Geológico Ingenieriles.
- Aplicación de los sistemas de Clasificación Geomecánica.
- Determinación del diseño y tipo de Sostenimiento.

### **Evaluación de las propiedades Físico Mecánicas de las Rocas**

La geomecánica establece parámetros para calificar las propiedades de resistencia y deformación de las rocas: Teoría de Hooke y el criterio de ruptura de Mohr- Coulomb

- Módulo de Young
- Módulo de Poisson
- Cohesión
- Índice de Fricción
- Resistencia a la Compresión
- Resistencia a la Tracción

### **Evaluación de las propiedades geológico Ingenieriles de las Rocas**

Las propiedades geológicas requeridas para caracterizar el macizo rocoso, debe tener en cuenta la composición heterogénea de la roca producto de su génesis y procesos naturales que la han afectado; esta caracterización geológica consiste en definir:

- Evaluación a nivel de fragmento rocoso: tipos de roca presentes en el área investigada y su distribución espacial.
- Evaluación del macizo rocoso: magnitud y orientación de las discontinuidades, alteración, aguas subterráneas y efectos geodinámicos.

## **La Descripción Litológica en Geotecnia**

Para fines científicos, las rocas se pueden describir en términos de la composición, textura química y origen mineral. La clasificación de las rocas según su origen conduce a los grupos ya bien conocidos: rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Esta clasificación científica es más adecuada para los fines de la geología, pero no ha dado resultados satisfactorios cuando el principal objetivo es conocer la resistencia mecánica de la roca a partir de la clasificación y descripción. Las descripciones geológicas no consideran el estado de meteorización de las rocas; de hecho, es difícil determinar la mineralogía y la química de rocas muy meteorizadas y los geólogos tienden a concentrarse en la búsqueda de especímenes o muestras nuevas.

El primer requerimiento para fines Geotécnicos es un informe sobre la resistencia y comportamiento mecánico del macizo rocoso, el verdadero nombre geológico de la roca no tiene gran importancia, pero aún se asienta en las descripciones Geotécnicas porque la composición química y mineralógica de la roca determina su comportamiento frente a la meteorización bajo diferentes condiciones climáticas. El macizo rocoso se describe en términos de índices. Algunos de éstos son puramente descriptivos, por ejemplo, el color, la textura, el estado de alteración, etc.; los demás se miden in situ o mediante pruebas de laboratorio, por ejemplo: la porosidad, resistencia, densidad relativa, o se basan en las características a gran escala dentro de la masa rocosa como son el fracturamiento, clivaje, planos de debilidad, así como los planos de estratificación en las rocas sedimentarias. La mecánica de rocas o geomecánica es la ciencia que intenta describir y predecir las propiedades y el comportamiento del macizo rocoso. La mecánica de suelos estudia las arcillas y el material granular, que se le conoce generalmente como “roca suave” entre los geólogos. Para la geotecnia, la descripción se divide en dos partes: descripción del fragmento de la roca y descripción del macizo rocoso.

### **Descripción del Fragmento de Roca**

La roca es una mezcla de ciertas especies minerales, formada por la naturaleza. En una roca dura estos minerales están firmemente unidos; las formas y orientación (determinada o irregular), establecen la resistencia o consistencia de

la roca. La roca fragmentada, no consolidada, está constituida también por distintos minerales, principalmente variedades de minerales arcillosos, hidróxidos de hierro y cantidades variables de minerales originales parcialmente fragmentados. Algunos son muy resistentes a la desintegración en determinados climas, otros se desintegran con relativa facilidad.

La masa total rocosa es una mezcla de minerales originales (primarios) no descompuestos y minerales secundarios producidos por los procesos químicos de descomposición o alteración.

### Índices del fragmento de Roca

Para la una buena evaluación Geomecánica se debe evaluar los siguientes índices: color, raya, crucero, fractura, tenacidad, forma cristalina, brillo, peso específico, diafanidad, tamaño del grano, textura, factor de textura, estructura, dureza, grado de alteración, resistencia, durabilidad, porosidad, relación de poros, permeabilidad primaria y secundaria, entre otros.

Color: Consiste de tres componentes: matriz, intensidad y valor, es lo generalmente conocido (por ejemplo, rojo), intensidad es el calificador (por ejemplo, rojizo), agregado al matiz y el valor es un parámetro muy amplio (claro u oscuro). La tabla 1 señala los términos empleados

**Tabla 1. Color de la roca. (Tomado de “The description of rock masses for engineering purposes” (Anon., 1977))**

Matiz			
rosa			
Valor	Intensidad	rosa	
	Claro	Rosado	
Oscuro	Rojizo	rojo Amarillento	amarillo
	Marrón	café	
	Verde olivo	verde olivo	
	Verdoso	verde Azulado	azul
	Grisáceo	blanco gris negro.	

**Dimensiones del grano:** Es el mismo concepto que se utiliza en la descripción de suelos y otros materiales no consolidados. El método empleado para la clasificación de tamaños se basa en una serie de mallas o cribas estándar, pero para poder describir la roca sólida, ésta se debe cortar en secciones delgadas y transparentes para examinarlos bajo la luz de los microscopios utilizados en Petrología. Es muy difícil obtener las dimensiones de un grano a partir de una sección delgada, porque al cortar dicha sección se puede haber cortado una parte del cristal y, por lo tanto, éste no aparece completo en la sección. Las secciones transversales de alargados no muestran su longitud real. Se utilizan métodos estadísticos para medir el tamaño del grano de rocas en secciones delgadas. Los cristales mayores de 60µm de tamaño se pueden ver sin la ayuda del microscopio. La roca que contiene granos menores que este tamaño se clasifica de grano fino. Algunas rocas están compuestas claramente por minerales de dos tamaños diferentes de grano. Dichas rocas se denominan porfíricas. La tabla 2 explica los tamaños de grano estándar.

**Textura, factor de textura y estructura:** Estos términos se utilizan de diferentes maneras en los libros de texto de geología; por lo que, es necesario definir cada uno de ellos para su uso en geotecnia. La textura se refiere a los granos individuales de minerales, su tamaño, forma y grado de cristalización. El factor de textura es la relación entre los granos, la manera como están distribuidos dentro de la roca.

**Tabla 2. Tamaño del grano. (Tomado de “The description of rock masses for engineering purposes (Anon., 1977))**

Término	Tamaño del grano	Grado equivalente de suelos
Grano muy grueso	>60mm	bloques y cantos rodados
Grano grueso	2 a 60 mm	Grava
Grano medio	60 µm a 2 mm	Arena
Grano fino	2 a 60 µm	Limo
Grano muy fino	< 2 µm	Arcilla

En algunas rocas los minerales están orientados en forma irregular, pero en las metamórficas los cristales planos o alargados presentan un arreglo con orientación paralela (pizarras y esquistos). La estructura se refiere a una escala mayor de rasgos de las rocas, por ejemplo, algunas tienen la misma apariencia en toda la masa rocosa (son homogéneas), otras poseen capas de diferente composición mineral, lo que da a la roca un aspecto bandeado, lo cual se denomina exfoliación.

**Textura:** Cristalina, cripto-cristalina (cristalina ya cuando se ve con el microscopio, granular (como el azúcar), amorfa (no tiene forma definida) y vítrea.

**Factor de textura:** Minerales con orientación variable, esquistosidad (orientación paralela). La orientación de los cristales o granos se puede determinar mediante la identificación y medición de las posiciones de los ejes cristalográficos con la ayuda de un microscopio petrológico. El procedimiento requiere de mucho tiempo por lo que es poco frecuente su empleo en geotecnia. No obstante, la orientación de los minerales es un factor determinante de la consistencia de la roca. Los granos de minerales con orientación irregular hacen que la roca tenga una consistencia o resistencia isotópica se debe a la orientación regular de los minerales planos o alargados o exfoliación. Hay varios grados de alineación en los minerales, cuya fluctuación va desde muy obvia, pudiéndose medir con transportador y brújula, hasta una alineación parcial poco notable, la cual solo se puede detectar con la ayuda de un microscopio para petrología.

**Meteorización:** Es el resultado de procesos mecánicos en o cerca de la superficie terrestre, cuando los minerales originales (primarios) se descomponen y se forman otros (secundarios). Los procesos de disolución pueden remover el material del cuerpo de la roca, haciendo poroso. La

descomposición de las rocas que contienen hierro produce minerales secundarios de color rojo, amarillo o café, cuya presencia en una roca indica su estado de meteorización. Las rocas meteorizadas tienen menor resistencia mecánica que las nuevas. Los últimos 10m de roca del terreno, presentan normalmente diversos estados de meteorización, disminuyendo en intensidad hacia abajo, generalmente, pero no siempre. Puede haber nódulos de roca altamente meteorizada, circundaría por roca ligeramente meteorizada. Los macizos rocosos de granito caolinizado a menudo presentan esta estructura irregular de meteorización. La tabla 6 define el esquema de clasificación de meteorización. Alteración es el término que se utiliza para describir cambios mineralógicos definitivos causando por la meteorización, por ejemplo: la transformación del feldespato en minerales arcillosos como la caolinita, etc. Al estudiar las rocas en secciones delgadas con ayuda del microscopio revela las primeras etapas de descomposición mineralógica que no se observa en los fragmentos. El estudiante debe notar la importante relación entre la descomposición mineral y la resistencia de roca.

**Resistencia:** Es importante distinguir entre la resistencia de un fragmento y la de la masa total de la roca, la cual está determinada principalmente por la frecuencia y orientación de las discontinuidades. La resistencia se mide mediante pruebas in situ y de laboratorio. Las pruebas comunes son: resistencia a la compresión no confinada, de carga de punto, Schmidt de rebote y del cono dentado. En la tabla 3 se presenta una clasificación de la resistencia del material rocoso. Nótese que la orientación de los minerales hace que varíe la resistencia con la dirección de la medición, por lo que la roca se describe como anisotrópica. Las rocas con grano bien definido, como las vetas de madera, se rompen fácilmente a lo largo de los granos minerales que transversalmente a los mismos. Esta propiedad se llama clivaje cuando los minerales orientados son cristales de mica y clorita de forma plana.

**Tabla 3. Clasificación de Meteorización. (Según British Standards Code of Practice for Site Investigation, BS 5930: 1981**

Grados de meteorización del fragmento rocoso		Grados de meteorización del macizo rocoso		
Término	Descripción	Término	Descripción	Grado
Fresco	No hay signos visibles de Meteorización del frag. de roca	Fresca	No hay señal visible en el material de roca; quizá alguna decoloración en las	I
Decolorado	El color del material original evidencia		Principales superficies de discontinuidad de la roca nueva y es	
	de meteorización. Se debe indicar el grado del cambio del color original. Se debe mencionar si el cambio de color está restringido a partículas minerales	Meteorización ligero	La decoloración indica meteorización del material rocoso y las superficies de discontinuidad todo el material de roca se puede decolorar por la meteorización.	II

Descompuesto	La roca del material original a la condición cambia de suelo, en donde la trama del material original aún está intacta, pero alguno de estos granos	Meteorización alto	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado formando suelo. La roca nueva o decolorada está presente ya sea en forma de gossan discontinuo o núcleos de roca.	IV
Desintegrado	La roca está meteorizada formando suelo, en el cual la trama del material original está aún intacta. La roca se desmorona, pero los granos de mineral no están descompuesto	Meteorización completo	Todo el material rocoso está descompuesto, desintegrado formando suelo o se encuentra en ambas situaciones. La estructura de la masa original está aún intacta en su mayor Parte.	V
		Meteorización alto	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado formando suelo. La roca nueva o decolorada está presente ya sea en forma de gossan discontinuo o núcleos de roca.	IV
		Meteorización	Todo el material rocoso está des-	V

La etapa de meteorización descrita arriba se puede subdividir empleando términos calificativos, por ejemplo, "parcialmente decolorado", "totalmente decolorado" y "ligeramente decolorado", en tanto ayude a la descripción del material que se está examinando.

Suelo	Todo el material rocoso se ha con-
Residual	Vertido en suelo. La estructura de la masa y la trama del material están destruidos. Hay un gran cambio de volumen, pero no ha habido un transporte importante del suelo

**La dureza de la roca:** No debe confundirse con la escala de dureza de Mohs (1 a 10) que se emplea en la descripción de minerales. En algunas rocas con dureza superficial elevada (por ejemplo, la obsidiana o vidrio natural) no se pueden hacer ranuras, hacer, pero pueden ser muy frágiles y astillarse cuando se les golpea con un martillo de geólogo debido a que su resistencia al impacto es débil.

### Índices que pueden ser determinados mediante pruebas

Que requieren poca o nula preparación de la muestra:

**Dureza o Resistencia:** Se mide por el grado de rebote de un martillo de acero en una superficie preparada de roca. La prueba Schmidt de rebote de martillo da una cifra de rebote que se puede correlacionar con la resistencia a la compresión uniaxial cuando se toma en cuenta la densidad en seco.

**Tabla 4. Resistencia de la roca. (Tomada de “The descripción of rock masses for engineering”, (Anon., 1977))**

Resistencia		
A la compresión No confinada MN m <sup>-2</sup>		
Término	(Mpa)	Estimación de la dureza en le campo
Muy resistente	> 100	
		Roca muy dura, requiere más de un golpe con martillo para romper el espécimen.
Resistencia	50 a 100	Roca dura, se puede romper una muestra
		de mano con un solo golpe del martillo.
Moderadamente resistente	12.5 a 50	Roca suave, se hacen agujeros de 5mm

		con el extremo afilado de un martillo
Moderadamente débil	5.0 a 12.5	Roca demasiado dura para cortarla con la mano para lograr un espécimen triaxial.
Débil	1.25 a 5.0	Roca muy suave, el material se desmenuza bajo los golpes del martillo.
Roca muy débil o	0.60 a 1.25	Frágil o tenaz, se rompe en la mano con dificultad.
Muy compacta	0.30 a 0.60*	El suelo puede marcar con la uña
Compacta	0.15 a 0.30	No se puede moldear el suelo con los dedos
Firme	0.08 a 0.15	El suelo se puede moldear sólo mediante fuerte presión de los dedos.
Suave	0.04 a 0.08	El suelo se moldea fácilmente con los dedos.
Muy suave	< 0.04	El suelo se escurre entre los dedos cuando se presiona con la mano.

\* Las resistencias a la compresión para los suelos mencionados arriba son el doble de la resistencia al cortante no confinada.

**Durabilidad:** La prueba de duración mide la resistencia de la roca al debilitamiento y desintegración cuando se sumerge en agua.

**Porosidad:** Esta se define como el porcentaje de espacio vacíos de una roca:  $(\text{volumen de espacio} / \text{volumen total}) \times 100$

$$N = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

**Relación de poros:** Se define como la relación (volumen de los poros / volumen de sólidos) x 100.

$$E = \frac{V_v}{V_s} \times 100.$$

**Densidad:** La densidad del material rocoso se define como la masa por unidad de volumen,  $\text{g/cm}^3$  o  $\text{kg/m}^3$ . Depende de la densidad relativa, también llama peso específico relativo, de los diferentes constituyentes minerales de la roca del suelo. El material no consolidado como arena, limo, arcilla, etc., consiste principalmente de cuarzo (P.E. es 2.65), arcilla (aproximadamente 2.70), mica (2.80 a 3.20) y óxidos o hidróxidos de hierro (3.60 a 4.0), así como de los poros del material, llenos con aire, agua o ambos. La consideración de estos factores conduce a cuatro diferentes especificaciones de densidad:

1. **La densidad del material mineral sólido.** Su masa por unidad de volumen.
2. **Densidad en seco.** Los poros de la masa de los sólidos están ocupados sólo por aire, por unidad de volumen.
3. **Densidad de saturación.** La masa del material con los poros llenos de agua, por unidad de volumen.
4. **Densidad volumétrica.** Esta es la masa por unidad de volumen para el caso general, cuando los poros están llenos parcialmente con aire y parcialmente con agua. Para esta especificación, el contenido de humedad (agua) de la muestra también se debe medir y registrar.

Una prueba diferente se utiliza para grava y arena, material granular que puede ser compactado para obtener una densidad mayor que en su estado natural. La magnitud mínima de densidad se encuentra introduciendo una cantidad conocida de material mediante un embudo a un cilindro de medición para encontrar el volumen que ocupa en su estado más suelto. La misma muestra se introduce luego por etapas en el cilindro, cada una seguida por compactación con un martillo o ariete, por etapas en el cilindro, cada una seguida por compactación con un martillo o ariete, de acuerdo con un procedimiento específico. Esta prueba da la magnitud máxima de densidad.

**El peso específico:** relativo en seco aparente de una roca se encuentra de la siguiente manera: un espécimen se seca al horno y se pesa, se cubre con parafina, luego se sumerge en agua y se mide la cantidad de ésta que es desplazada, lo cual da el volumen. El peso y la densidad de la cera utilizada se toman en cuenta para el cálculo del volumen real de la muestra. Duncan (1969) y Ackroyd (1957) han descrito pruebas detalladas para obtener el peso específico relativo y la densidad.

**Velocidad del sonido:** Esta es una medición de la velocidad del sonido en las rocas. Se puede hacer en el laboratorio mediante un general ultrasónico, acoplado al espécimen mediante conductores para transmitir el sonido hacia adentro y afuera de la roca, la cual ha sido maquinada hasta darle una rectangular o cilíndrica, con extremos planos para lograr un buen contacto del sonido. La velocidad de éste a través de una roca depende primordialmente del módulo de elasticidad de Young y de la porosidad. En general, mientras más sólida sea la roca mayor será la velocidad del sonido en la misma. No obstante, las discontinuidades reducen considerablemente la velocidad en la masa rocosa, tanto en los especímenes de pruebas de laboratorio como en la roca del terreno. Las pruebas de campo de la velocidad de las ondas sísmicas en la masa rocosa se hacen con la ayuda de una carga explosiva o dejando caer un peso como fuente de energía sónica y de la técnica geofísica común que utiliza geófonos y registro electrónico de las señales. Para medir el módulo de Young y la relación de Poisson, el espécimen se debe preparar especialmente a partir de núcleos a los que se les forman extremos planos paralelos por medios mecánicos. El espécimen se comprime en una máquina hidráulica de compresión triaxial. Las mediciones se pueden hacer sobre la muestra sin confinamiento, a la presión atmosférica normal; o de confinamiento, introduciendo el espécimen en un cilindro de acero conectado a un suministro de presión se incrementa; el proceso puede ser cíclico.

**Permeabilidad primaria:** Esta es una medida de la cantidad y tamaño de los espacios vacíos de la roca. Las rocas porosas pueden contener poros

muy pequeños; el agua no se puede mover por ellos debido a los efectos de la tensión superficial elevada, característica de los pasajes muy estrechos que se pueden en el cuerpo rocoso. Si los poros son más grandes la tensión superficial entre el agua y los granos minerales es menor, por lo que roca es más permeable. No hay una relación directa entre la porosidad y la permeabilidad. La permeabilidad secundaria se refiere al total de la masa rocosa y está controlada por la cantidad de las discontinuidades.

### **Descripción del Macizo rocoso**

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

### **Índices del Macizo Rcoso**

Dentro de los índices principales del macizo tenemos a las discontinuidades, el grado de fracturamiento, el grado de alteración y la presencia de aguas subterráneas.

Las discontinuidades: son las fallas geológicas, diaclasas, planos de estratificación, pliegues, discordancias, contacto litológico, hiatos, oquedades y otros.

A estas discontinuidades se le debe evaluar el espaciamiento, la separación, persistencia, ondulación, rugosidad, relleno y el número de familias.

Una discontinuidad es un plano de debilidad dentro de la masa rocosa, a través del cual la roca tiene una resistencia a la tensión, o a lo largo del cual hay una baja resistencia al cortante. Algunos de estos planos pueden estar separados, como en las fracturas, pero pueden estar muy juntos (no se puede distinguir la fractura hasta que se detecta en la roca sometiendo la

a pruebas). Los planos incluyen juntas, clivajes, esquistosidad, foliación, vetas, planos de estratificación, fallas o fracturas abiertas causadas por la disolución de minerales formadores de roca solubles (por ejemplo, la calcita). La foto N° 21 muestra algunos tipos de discontinuidad. Las posiciones tridimensionales de estas discontinuidades se obtienen midiendo el echado y la dirección con un clinómetro y una brújula; los resultados se trazan en una proyección estereográfica. Esto revelará algunas direcciones bien definidas de la debilidad estructural.



**Discontinuidades en un macizo como pliegues, fallas geológicas, estratos y otros.**

Se obtiene un índice de la **frecuencia de las discontinuidades**, contando las que intersecan una línea de longitud adecuada medida del espaciamiento medio. Las mediciones se hacen a lo largo de tres ejes perpendiculares entre sí. El **espaciamiento de las discontinuidades** se puede describir de acuerdo con la tabla 5.

**Tabla 5. Espaciamiento de las discontinuidades. (Tomada de “British Standards Code of Practice for Site Investigation,” BS 5930: 1981),**

Término	Espaciamiento
Espaciamiento muy amplio	mayor de 2 m Espaciamiento amplio 600mm 2mm
Espaciamiento medio	200 a 600 mm Espaciamiento estrecho 60 a 200 mm
Espaciamiento muy estrecho	20 a 60 mm
Espaciamiento extremadamente estrecho menos de 20 mm	

La magnitud de la separación en las discontinuidades es un importante control de la estabilidad del macizo rocoso. Las fracturas pueden estar muy cerradas (estrechas) o puede estar abiertas. El espacio entre bloques adyacentes puede estar o no ocupado con roca descompuesta (relleno), la cual con frecuencia es arcilla o una mezcla de ésta y fragmentos de roca o minerales de veta. El relleno se debe detallar según la descripción de la roca y el suelo que se ha dado en las tablas correspondientes. La tabla 9 define la separación de las superficies de discontinuidad. La resistencia a la compresión no confinada del relleno puede estimarse visualmente (tabla 6) o medirse con un penetrómetro de bolsillo o un probador de veleta para suelos, o un probador de punto de carga material duro. El área total de una discontinuidad en lo particular se conoce por su persistencia y es un factor importante de la resistencia de una masa de roca. El difícil medirla; algunas discontinuidades de gran tamaño como fallas y fracturas mayores (muestras), pueden persistir a lo largo de todo el lugar o atravesar parte del mismo. Se puede registrar la persistencia de estos planos de discontinuidad midiendo las distancias en diferentes direcciones a lo largo de sus planos. Las discontinuidades se pueden desvanecer dentro de la roca sólida o terminar frente a otras discontinuidades. La superficie de una discontinuidad es importante y puede ser descrita en términos de ondulaciones irregularidades y condición de las paredes. Todos influyen en la resistencia al cortante a lo largo del plano de discontinuidad, junto con la cantidad de agua en el plano o en el relleno.

**La ondulación** es una irregularidad de primer orden en el plano, son ondas en la superficie de la roca no se separaron durante el movimiento a lo largo del plano. La ondulación se mide en términos de amplitud y longitud de onda, empleado una cinta.

**La rugosidad.** es un fenómeno de segundo orden causado por la textura inherente de la roca, dimensiones del grano de los minerales y la descomposición de sólo algunos minerales. Si han existido movimientos continuos a lo largo de los planos de discontinuidad (por ejemplo, fallas) durante millones de años bajo altas temperaturas (mayores de 200°C) y la presión existente a varios kilómetros de profundidad se pueden formar minerales a lo largo de los mismos.

**Tabla 6. Separación de las superficies de discontinuidad. (Tomada de “The description of rock masse for engineering purposes” (Anon., 1977))**

Término	Separación (discontinuidades) Espesor (vetas, fallas)
Amplia	más de 200 mm Moderadamente
amplia	60 a 200 mm Moderadamente
estrecha	20 a 60 mm
Estrecha	6 a 20 mm
Muy estrecha	2 a 6 mm
Extremadamente estrecha	mayor que 0 - 2 mm
Cerrada	cero

Dichos minerales forman plana (con frecuencia esteatita o minerales arcillosos) y orientación paralela al plano de la discontinuidad. Cuando la roca se rompe, estos planos se sienten suaves y se dice su superficie es un espejo de falla o que está pulida. La tabla 7 define los grados de rugosidad. Las irregularidades superficiales presentan en ocasiones una alineación notable, donde el grado de seguridad varía con la dirección, por ejemplo, cuando las superficies son escalonadas. Este efecto se produce cuando el movimiento en una dirección es más fácil que en la opuesta. Si la rugosidad varía con la dirección, ésta se debe medir y registrar.

**Tabla 7. Categorías de la rugosidad. (Tomada de “The description of rock masses for engineering purposes” (Anon., 1977))**

Categoría	Grado de rugosidad
1	pulida
2	espejo de falla
3	suave
4	áspera
5	prominencias definidas
6	pequeños escalones
7	muy áspera.

Es muy importante evaluar el contenido de agua dentro de las discontinuidades o en el relleno para determinar la estabilidad del macizo rocoso.

Forma natural en bloques; si se toman en consideración los aspectos tridimensionales de la masa rocosa, ésta presenta con frecuencia la tendencia a romperse en bloques de formas regulares dependiendo del patrón de intersección de los planos de discontinuidad. Se debe registrar el tamaño y la forma de los bloques con la ayuda de las tablas como sigue; la clasificación por tamaños se encuentra en la tabla 8. También se deben anotar las orientaciones pequeñas o grandes. La clasificación según la forma, es la siguiente:

Formas naturales de fragmentos de roca, desarrolladas después de la expansión ocasionada por la liberación de esfuerzos.

En bloques aproximadamente equidimensional.

Tabular una dimensión mucho más corta que las otras dos. Columnar una dimensión mucho más larga que las otras dos. Todas estas mediciones y la descripción de la masa rocosa se registran en hojas especialmente impresas para procesamiento de datos. Las descripciones y magnitudes se pueden convertir en índices para simplificar los datos que se almacenan.

**Tabla 8. Tamaño de bloques. (Tomada de: “The descripton of rock masses for engineering purposes” (Anon., 1977)).**

Término	Tamaño del bloque	Espaciamiento equivalente de Discontinuidad en el bloque de la Roca	
Muy grande	mayor de 8 m <sup>3</sup>	extremadamente amplio	
Grande	0.2 a 8 m <sup>3</sup>	muy amplio	
Mediano	0.008 a 0.2 m <sup>3</sup>	amplio	
Pequeño	0.002 a 0.008 m <sup>3</sup>	moderadamente amplio	
Muy pequeño	menos de 0.002 m <sup>3</sup>	menos que moderadamente amplio	

## CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

A partir de las ideas de Terzaghi, se ha intentado sistematizar, cualificar y cuantificar las características Geomecánicas de los macizos rocosos donde se realizan las excavaciones. La mejor clasificación sería conocer las propiedades mecánicas del macizo, como combinación de las propiedades de las rocas y de las discontinuidades. Por ser esto prácticamente imposible, se han hecho clasificaciones en las que se diferencian los macizos rocosos en diversas categorías de calidad.

En décadas anteriores construir en roca era, conceptualmente, construir sobre seguro y la mayoría de los sondeos se limitaban por esto a atravesar el material de cubierta y tocar la roca, sin investigar las características de la misma en profundidad. Conjuntamente con esta idea, surgen las apreciaciones cualitativas sobre la aptitud del macizo rocoso principalmente como medio lindante de una excavación subterránea.

Estas clasificaciones que se han ido perfeccionando con el tiempo, tienden fundamentalmente a:

1. Ubicar el macizo rocoso en un tipo estructural determinado y establecer zonas Geomecánicas.

2. Establecer una cuantificación Geomecánica que permita dilucidar, ya en la etapa de anteproyecto las dificultades que se encontraran y lo que es aún más importante prever la metodología de tratamiento (sostenimiento, método de excavación etc.) más adecuada en base a la clasificación establecida.

Las etapas más importantes en el desarrollo de sistemas de clasificación de macizos rocosos, que tuvieron su origen en los túneles, por ser en estas obras donde parecía más necesario conocer el comportamiento mecánico del macizo son las siguientes:

1. Clasificación de Terzaghi
2. Clasificación de Rabcewicz
3. Clasificación de Protodyakonov
4. Clasificación de Stini y Lauffer
5. Clasificación de Deere
6. Clasificación (RSR) de Wickman, Tiedemann y Skinner
7. Clasificación de Louis
8. Clasificación de la AFTES.
9. Clasificación Bieniawski (CSIR).
10. Clasificación de Barton (NGI).
11. Clasificación de Hoek y Brown.
12. Clasificación de Laubscher.
13. Clasificación Dudek y Galcznski.
14. Clasificación del N.A.T.M.
15. Clasificación GSI.

### **Diseño de las labores mineras y del sistema de explotación**

En un inicio se realizó la valuación de las rocas de la mina con todos los sistemas de clasificación Geomecánica mencionados anteriormente; en base a esto se determinó el sistema de explotación y el diseño de sostenimiento que actualmente rigen en la operación.

- Una de las Clasificaciones Geomecánicas que reforzó la toma de decisión fue el N.A.T.M.

- Para el control y seguimiento diario se trabaja con las clasificaciones NGI, CSIR y GSI; cuyos resultados son indicados en los reportes diarios de operaciones.

### **Islay con el sistema de Explotación Basados en el NATM**

Objetivo Principal, es el empleo de la roca circundante de la labor subterránea como un miembro activo del sistema de sostenimiento (autososte con la propia roca).

#### **Principios Básicos del NATM.**

1. Consideramos que la parte más importante de la estructura de la labor minera es el macizo rocoso circundante.
2. Tratar de mantener la resistencia original de la roca tanto como sea posible; porque, esta es el elemento de resistencia inicial.
3. Se previene la desintegración o alteración de la roca, tanto como sea posible, porque esto, nos conduce a una considerable pérdida de resistencia del macizo.
4. Se evita en lo posible la presión por esfuerzos uniaxiales o biaxiales, mediante el confinamiento del arco circundante a la excavación.
5. Se controla la relajación o deformaciones prematuras del macizo; para prevenir el realce o inestabilidad de la roca.
6. El revestimiento con shotcrete es dentro del tiempo establecido, cuya resistencia presenta una dosificación de acuerdo al diseño elaborado en la mina en base a muchos ensayos.
7. El shotcrete aplicado es capaz de adaptarse a la deformación del macizo, es decir, presenta flexibilidad.
8. El sistema de sostenimiento considerado permite ajustes en cuanto a espesores de shotcrete y distribución de pernos de anclaje. En algunos casos cuando la roca necesita se considera la adición de malla electro-soldada.
9. Se considera el efecto de las etapas de construcción de la labor y el efecto del tiempo en el comportamiento de la excavación, conocido como tiempo

de auto-soporte. El planeamiento de construcción es una buena herramienta para controlar el comportamiento de la roca.

10. Para prevenir concentración de esfuerzos que empujan la roca, deben evitarse los ángulos y ejecutarse las secciones de contornos redondeados.
11. La excavación y la primera etapa del soporte, conocida como soporte temporal, es considerada como parte importante del control de excavación de la labor, porque ella evita la relajación inicial y tiene una influencia significativa sobre la acción del soporte final. En realidad, el soporte temporal es el principal elemento de control de las deformaciones y permite alcanzar equilibrios definitivos.
12. La estabilidad total se logra mediante el soporte definitivo es con los anclajes. El soporte definitivo sirve para confinar el macizo rocoso formando el arco de auto-soporte. Estas técnicas de soporte son las últimas del mercado mundial que aseguran la estabilidad definitiva.
13. En caso de presencia de flujos de agua subterránea, se considera drenajes mediante la perforación de taladros y pernos huecos.

### **Clasificación de Barton (NGI).**

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:

$Q = RQD/J_n \times J_r/J_a \times J_w/SRF$  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 de Chungar.

Ver parámetros de Calificación en Tablas del Anexo N° 2.

### **Clasificación Bieniawsky (CSIR).**

Esta clasificación del CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) fue propuesta por Bieniawsky.

Considera cinco parámetros básicos para definir la clasificación:

- 1. Resistencia De La Roca Intacta.** - Está determinada por ensayos de Compresión simple ( $R_c$ ) o en su defecto por los ensayos de cargas puntuales ( $I_s$ ); datos que se obtiene en el laboratorio de mecánica de rocas.
- 2. Rqd Del Testigo (Rock Quality Designation).** - Tal como fue definido por su autor (Deere, 1964) es el % de testigos de perforación diamantina recuperados en piezas intactas de 100 mm o más con respecto a la longitud total de la perforación.
- 3. Espaciamiento Entre Discontinuidades.** - Aquí, discontinuidades es un término que abarca diaclasas, fallas geológicas, planos de estratificación y otras superficies de debilidad.
- 4. Condiciones De Discontinuidades.** - Este parámetro toma en cuenta la abertura de las discontinuidades, su continuidad, rugosidad de su superficie, grado de alteración de sus paredes y la presencia de material de relleno.
- 5. Condiciones Hidrogeológicas.** - Este parámetro considera la influencia del agua subterránea en la estabilidad de las excavaciones; la clasificación se hace a la cantidad de flujo de agua que entra en la excavación o alternativamente usando la relación entre la presión hidrostática y la tensión principal mayor, siempre que sean conocidas.

En el Anexo N° 2 Clasificaciones Geomecánicas de Bieniawsky: La tabla A presenta la clasificación geomecánica donde aparecen los parámetros con sus

respectivos índices. Los índices son simplemente puntajes asignados a cada rango de valores para cada parámetro. El índice total se calcula sumando todos los índices parciales de cada parámetro.

Bieniawsky considera que el índice total debe ser corregido debido al efecto que tiene la orientación de las discontinuidades en las excavaciones subterráneas. La tabla B es usada para éste propósito.

Las tablas C y D indica los tipos de masas rocosas de acuerdo a sus índices de igual manera presentan características representativas de cada tipo de macizo rocoso, tales como tiempo aproximado de auto soporte, cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso.

Bieniawsky, basado en la clasificación geomecánica del macizo rocoso, presento una serie de recomendaciones para soporte en túneles. Estas recomendaciones están dirigidas principalmente a trabajos de Ingeniería civil para túneles con luces de 10 m y que van a ser excavados por perforación y voladura y en profundidades menores que 1000m. Estas recomendaciones están resumidas en las tablas del Anexo N° 2 Clasificaciones Geomecánicas de Bieniawsky.

### **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 =  $2(ESR) Q^{0.4}$
2. Valores de ESR, se muestra en el cuadro geomecanico.

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, como para los diferentes tajos, los cuales se muestran en el Anexo Estándares de Sostenimiento.

## **PRINCIPALES ROCAS DEL YACIMIENTO**

### **Roca calcárea limo-arcillosas (Margas)**

Son rocas sedimentarias de grano muy fino compuestas por carbonato cálcico, limo y arcilla. Normalmente estas rocas se clasifican como rocas detríticas. En función del porcentaje de carbonato cálcico frente al de arcillas se pueden clasificar en: marga arcillosa, marga limo arcillosa, marga y marga calcárea; también conocida como roca arcillosa compuesta por limo, arcilla y un 50% de  $\text{CO}_3\text{Ca}$ . Componentes: (carbonatos 25 - 75 %; arcillas 25 - 75%).

### **Características**

Hidrófila: tiene la capacidad de abudamiento y contracción - deformación y ruptura.

- Formación habitual de escombros de intensa movilización potencial.
- Margas húmedas y con alta porosidad (resistencia mecánica 10 – 70 MPa.) Saturadas, entre 6 - 7% y con porosidad de hasta 35%.
- Cuando tiene contenido orgánico conchuelas (lumaquelas) y cementante calcáreo es muy inestable, soluble, dispersable y fácilmente triturable.
- Por saturación de agua adquiere frecuentemente fluidos y tixotropía.
- Con aumento de porosidad e humedeciéndola la resistencia mecánica disminuye brusca y sustancialmente.
- Tiene dispersión fina.
- Son solubles en el agua según contenidos de carbonatos y sales.
- Muy vulnerables a la acción de los ácidos.
- Son casi inocuos con cemento.
- Las vibraciones cuando están húmedas las deforman hasta límite Líquido.
- La atmósfera la ataca cuando presenta  $\text{HCO}_3$ ;  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .

En general la roca es altamente vulnerable a la acción de las aguas, especialmente si éstas tienen algo de ácidos.

En Animon -Islay la ocurrencia de margas es con los aspectos de Marga roja y Marga Gris, que se describe a continuación:

### **Rocas Clásticas Cementadas (Areniscas - Conglomerados - Brechas)**

**Componentes:** Cuarzo, feldespato, micas, arcillas, fragmentos otras rocas.

**Tipos:** argilitas - limonitas, calcarenitas.

Enlaces estructurales de componentes cementados.

El comportamiento tiene mucha relación con el tipo y naturaleza del cementante:

Arenisca con cementante calcáreo resistencia mínima La resistencia disminuye con las impurezas de: Fragmentos meteorizados y Presencia de arcillas.

Incremento de presión con profundidad y comprensión por plegamientos.

Recristalización por contacto.

Vulnerables al meteorismo si hay componentes alterables.

Vulnerables al agua si hay cementante arcilloso y/o calcáreo.

Entre areniscas y conglomerado.

### **Estructuras Mineralizadas (Vetas)**

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

Densidad (d) = 2.33 a 4.35

Resistencia a la compresión (Rc) = 18 hasta 140 Mpa

Resistencia a la Tracción (Rt) = 2,69 a 7,39 Mpa Ángulo de fricción ( $\phi$ ) = 28.08° a 30.30°.

### 2.3. Definición de términos

#### ✓ **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 de Túnel:** 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. Hipótesis Genéricos y Específicos

### 2.4.1. Hipótesis genérico

El análisis geomecánico determina el tipo de sostenimiento a implementarse en el túnel de integración Animon-Islay.

### 2.4.2. Hipótesis específicos

- Las características geológicas de los macizos rocosos determinan la el tipo de sostenimiento.
- Las clasificaciones geomecánicas determinan el tipo de sostenimiento.

## 2.5. Identificación de las Variables

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

### 2.5.1. Variables independientes

El análisis geomecánico.

### 2.5.2. Variables dependientes

Tipo de sostenimiento a implementarse en el túnel de integración Animon-Islay.

### 2.5.3. Variables interdependientes

- Agua subterránea
- Peso específico de la roca.
- Normas ambientales para la actividad minera

## **METODOLOGÍA**

### **CAPITULO III**

#### 3.1. Tipo de investigación

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

#### 3.2. Diseño de investigación

Exploratorio: se toman datos geomecánicos de campo de las estructuras, obteniéndose información para determinar el tipo de sostenimiento del tunel de integración.

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.

#### 3.3. Población de 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.

#### 3.4. Método de investigación

Se realiza un enfoque Cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geológica y geomecánica de las 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.

#### 3.5. Técnicas instrumentales 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. Técnica de procesamiento y análisis de datos

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

**RESULTADOS Y DISCUSIONES**  
**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS**

**4.1. UBICACIÓN**

La unidad Operativa Islay, está a cargo de la Mina Animón, la cual se encuentra ubicada en el flanco oriental de la cordillera occidental de los Andes Peruanos; políticamente se ubica en el Distrito de Huayllay, Provincia y Departamento de Cerro de Pasco.

Las coordenadas UTM del centro de operaciones de la Unidad Operativa dentro de la hoja de Ondores 23-k son:

<b>DATOS</b>	<b>UTM WGS 84</b>
Zona	18
Banda	L
Altitud	4600 msnm
Coordenada Este	343,814
Coordenada Norte	8'780,935

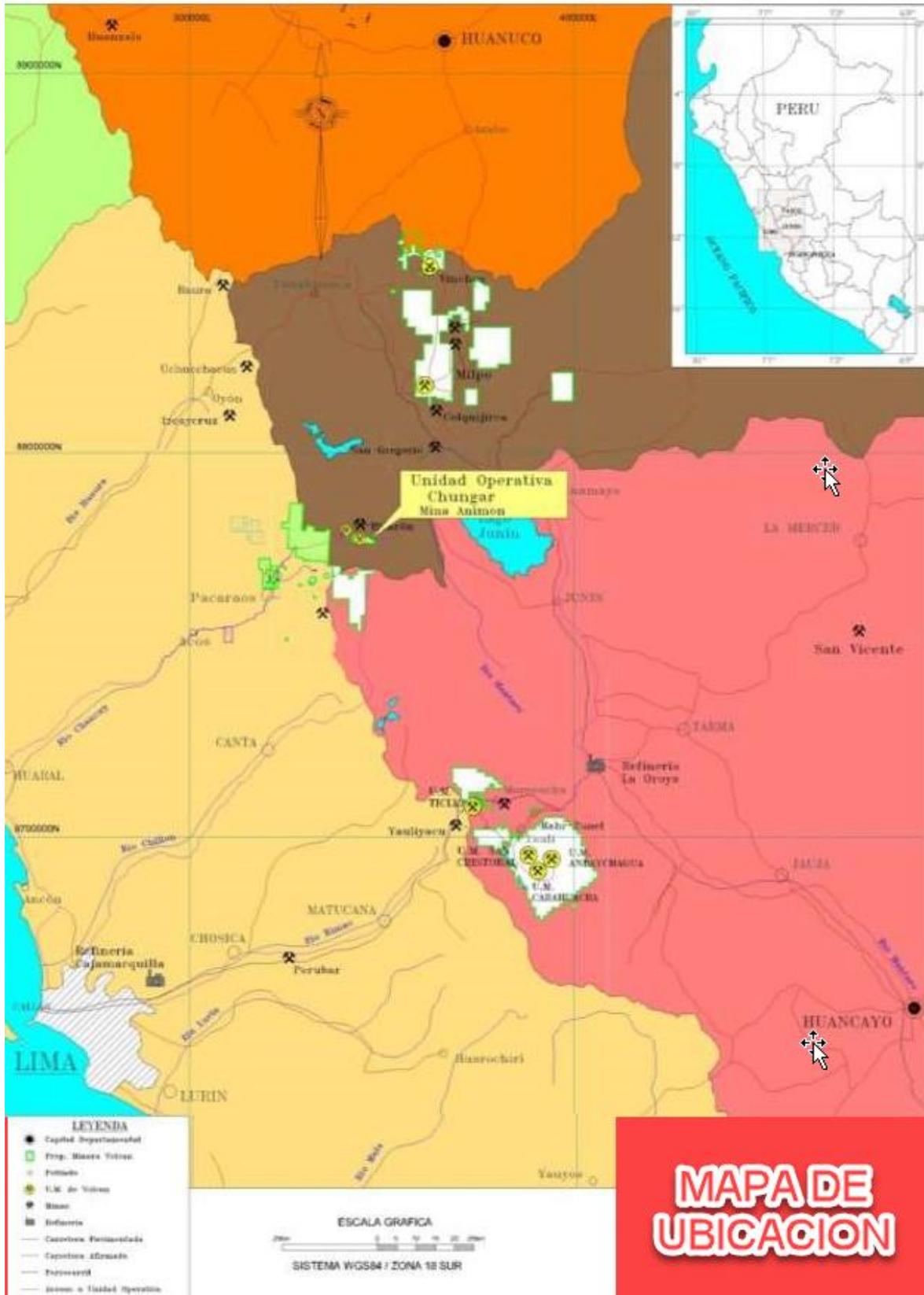
**Tabla N°1: Coordenadas UTM de Unidad Operativa**

**4.2. ACCESIBILIDAD**

La unidad Operativa islay es accesible desde Lima a través de 3 rutas:

	<b>RUTAS DE ACCESO</b>	<b>VIA</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
<b>1</b>	Lima-Oroya-C. PascoU.O.Chungar- Islay	Asfaltada	304	7
<b>2</b>	Lima-Huara1-U.O.Chungar- Islay	Asfaltada-Afirmada	225	5
<b>3</b>	Lima-Canta-U.O.Chungar- Islay	Asfaltada-Afirmada	219	5

## Accesibilidad a Unidad Operativa





### PLANO TOPOGRÁFICO

#### 4.3. 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 límites 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, Volcan 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 Volcan es Glencore.

#### 4.4. FISIOGRAFIA

##### ***RELIEVE***

El relieve donde está ubicada la Unidad Operativa Chungar presenta un relieve moderadamente accidentado, con geofomas 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 geofomas 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 geofomas 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. (*Ver Figura N°1*).



#### *Lagunas Escalonadas-Imagen extraída del Google Earth*

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 glaciaria, dejando como remanentes lagunas escalonadas.

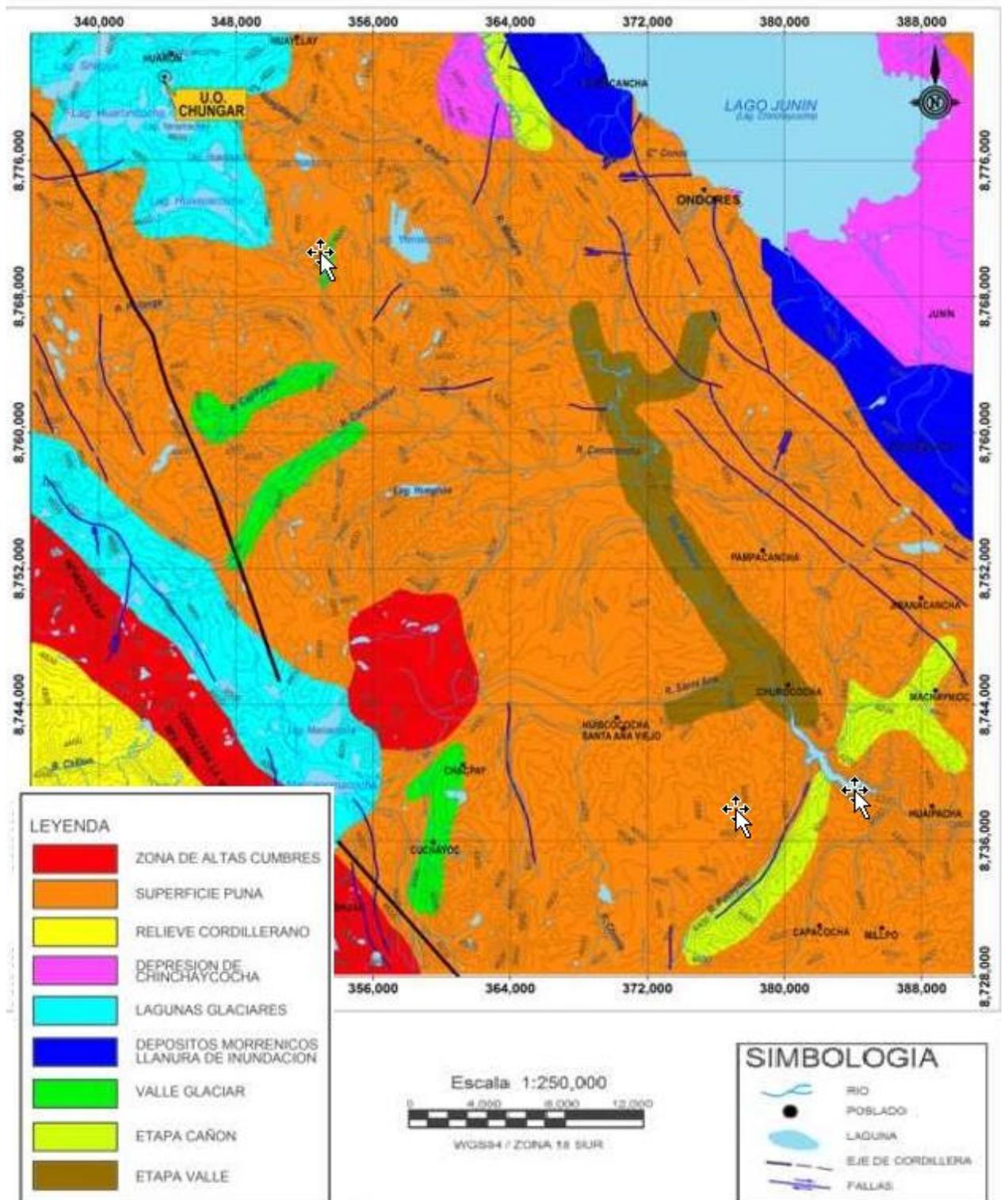
Entonces en la fisiografía de Islay, podemos definir unidades de la superficie de forma notable, como cerros, lagunas, y ambiente glaciares..

#### 4.5. GEOMORFOLOGÍA

La morfología del área de estudio es el resultado de los efectos degradatorios 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: Estadio Chacra o Valle, con levantamiento de 500 metros de elevación y Estadio 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 Puagjancha, 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 glaciar, 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 Huaracancha 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.

#### 4.6. 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 espaciamento 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.

#### 4.7. 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

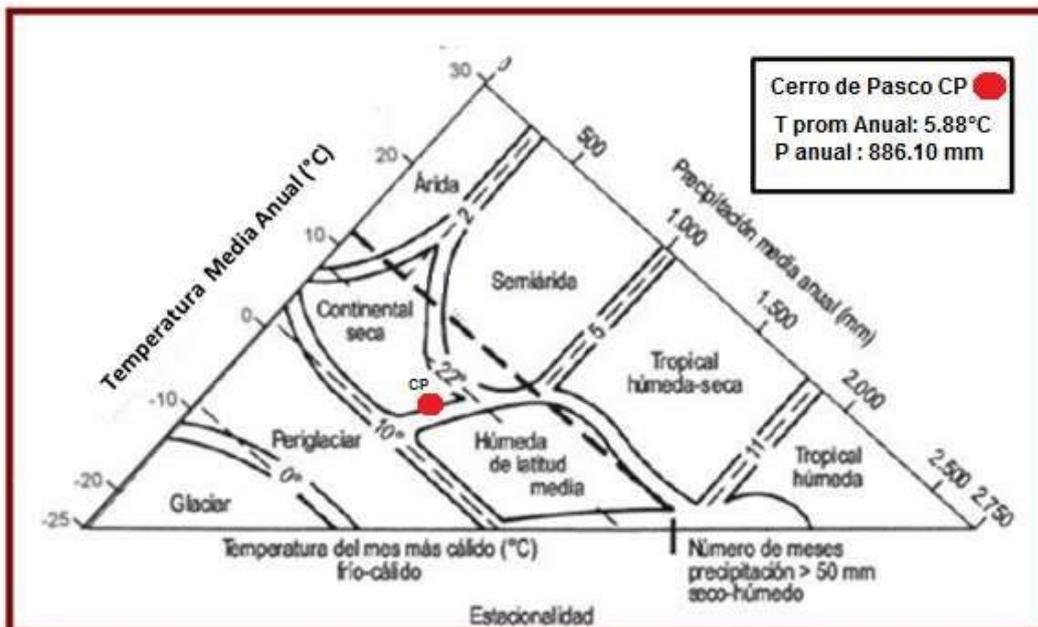
Temperatura Promedio Anual es: 5.88 °C

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

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

### Clasificación Climática de Koppen

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



Regiones Morfoclimáticas, (Chorley et al., 1984)

## 4.8. 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

**Mamíferos:** Venado (*Odocoileus virginianus*), llama (*Lama glama*), zorros (*Ducisyon culpaeus*), vizcachas (*Lagidium peruanum*), gato montés (*Oncifelis colocolo*), zorrillo (*Conepatus chinga*) y la presencia esporádica de pumas (*Felis concolor*). **Reptiles:** Lagartijas (*Liolaemus* sp.)

**Aves:** Existe gran diversidad de aves, destacan los cernícalos (*Falco sparverius*), aguiluchos cordilleranos (*Buteo poecilochrous*), halcones peregrinos (*Falco peregrinus*), bandurrias de la Puna (*Theristicus branickii*), yanavicos (*Plegadis ridwadi*), huallatas (*Chloephaga melanoptera* Eyton), perdices de Puna (*Tinamotis pentlandii*), pollas de agua (*Gallinula chloropus pauxila*), gallineta negra (*Laterallus tucosus*), flamenco o parihuana (*Phoenicopterus chilensis*), lique-lique (*Vanellus resplendens*), y la gaviota andina (*Larus serranus*). y especies de patos, tales como el pato sutro (*Anas flavirostris*), pato jerga (*Anas georgica*), pato puna (*Anas puna*), pato rana (*Oxyura jamaicensis*),

**Peces:** De laguna tales como bagres (*Pygidium taczanowskii*) y challhuas (*Orestias elegans* y *Orestias empyraeus*).



*Laguna Chinchaycocha Flora y Fauna (Parihuanas).*

#### 4.9. RECURSOS NATURALES

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

Desde el punto de vista de los recursos naturales no renovables, tenemos la actividad minera, localizándose dentro del cuadrángulo de Ondores las minas de Huarón, Animón, Islay, las cuales son productoras de plomo, plata y Zinc.

#### 4.10. GEOLOGÍA REGIONAL

##### 4.10.1. GENERALIDADES

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

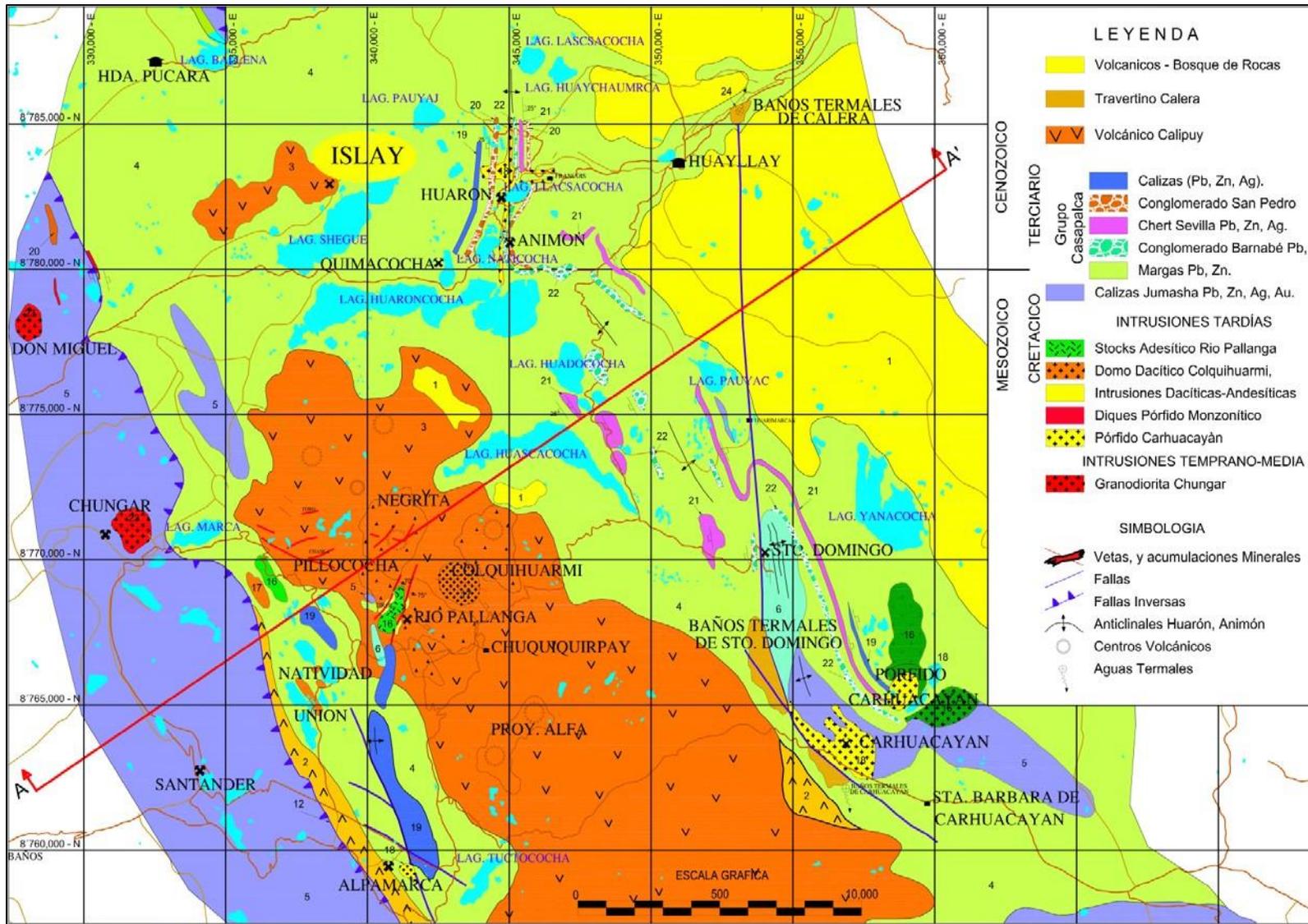
En la región abunda las “Capas Rojas” pertenecientes al Grupo Casapalca que se encuentra ampliamente distribuida a lo largo de la Cordillera Occidental desde la divisoria continental hacia el este y está constituido por areniscas arcillitas y margas de coloración rojiza o verde en estratos delgados con 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. Datan 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 glaciaria en el pleistoceno que fue muy importante en la región siendo el rasgo más elocuente de la actividad glaciaria la creación de grandes cantidades de lagunas.

(Ver Plano N°4)



: Plano Geológico Regional (Ref. Ing. D. Ríos - 2008).

COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL				
ERAS	PERIODO	SERIE	ESCALA ESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION LITOLOGICA
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	SERIES VOLCANICAS SEDIMENTARIAS Y VOLCANICOS	-TUFOS SOLDADOS DEL BOSQUE DE ROCAS, HUAYLLAY (Fm. BOSQUE DE ROCAS)
		PLEISTOCENO		FORMACION YANTAC VOLCANO - SEDIMENTARIOS
		PLIOCENO		- TRAVERTINO CALERA, CARHUACAYAN Y AGUAS TERMALES
		MIOCENO		- FORMACION CALIPUY, LAVAS, FLUJOS PIROCLASTICOS STOCK ANDESITICOS, DACITICOS, DOMOS RIOLITICOS
		OLIGOCENO		
		EUCENO		- FORMACION ABIGARRADA, CAPAS ROJAS SUPERIORES ARENISCAS CON ELEMENTOS VOLCANICOS CONGLOMERADOS
		PALEOGENO		CALIZAS
MESOZOICO	CRETACICO	SUPERIOR	SERIES SEDIMENTARIAS	- FORMACION CAPAS ROJAS (CASAPALCA) PELITAS, MARGAS, ARENISCAS CONGLOMERADOS, CHERT
		INFERIOR		- 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)

#### 4.10.2. 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 Alca, 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  $14.58 \pm 0.48$  y  $14.67 \pm 0.48$  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  $6.2 \pm 0.2$  (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 han sido localizadas 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

pseudo-estratificación 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 Fluvioglaciares*

### **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 Bofedales-Chinchaycocha*

### ***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 ambas 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.

#### 4.10.3. 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 km<sup>2</sup> pero raramente pueden alcanzar 10 km<sup>2</sup>, 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 Colquihuarmiti.

##### **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 en la mina Huarón.

#### 4.10.4. 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 buzanan 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 afectó el área Animón - Islay.

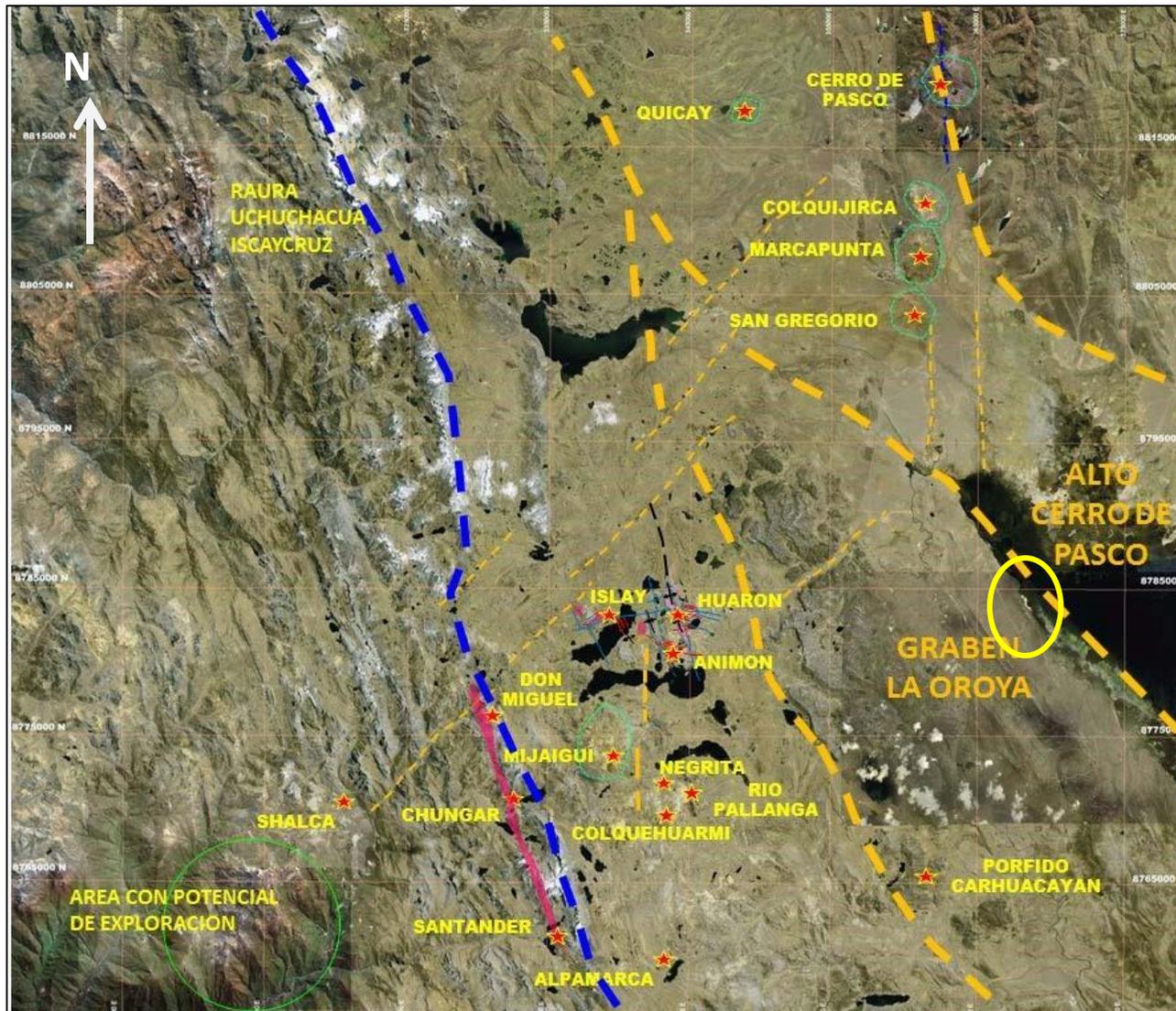


Imagen Satelital con las Estructuras Regionales y Yacimientos principales.

-  Falla Regional Inversa
-  Fallas Regionales NW
-  Fallas Tensionales NNE

## ***PLEGAMIENTO***

Por acción de la Orogénesis Incaica, por esfuerzos compresivos Este-Oeste, los sedimentos preterciarios y 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

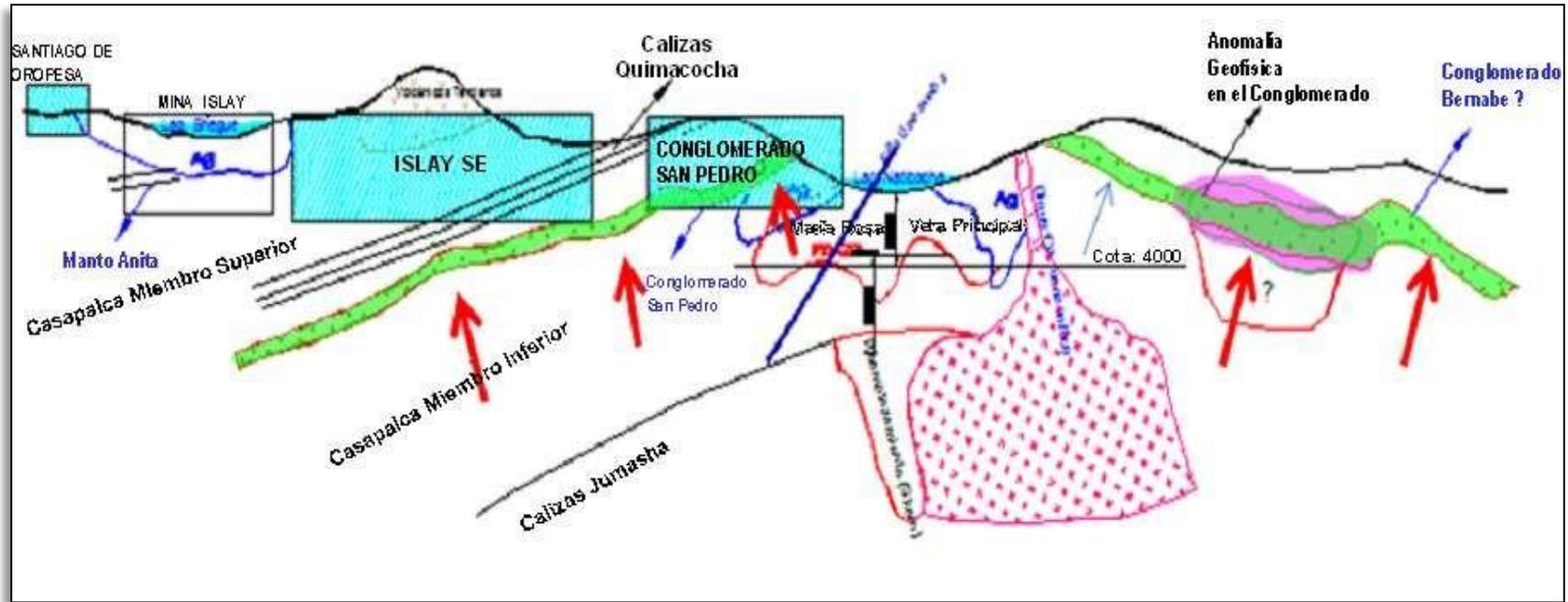
el Este y hacia arriba, la resultante mayor orientada a N65°E fue aplicada en la parte central del distrito y la resultante intermedia fue dirigida hacia arriba.

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 preintrusivas. 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 preminerales: El conjunto transversal orientada en dirección E-W: y el conjunto longitudinal orientada en la dirección N-S.



*Esquema estructural general*

#### 4.11. 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).

##### 4.11.1. 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.

#### **GRUPO 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.



**Figura N°3.1** : Falla Regional de sobrecurrimiento en línea roja , nórtese las Calizas del Jumasha (Mesozoico - Cretácico Inferior), las Capas Rojas ( Cenozoico - Terciario Inferior) y el Volcánico Calipuy; foto tomada mirando al Norte.

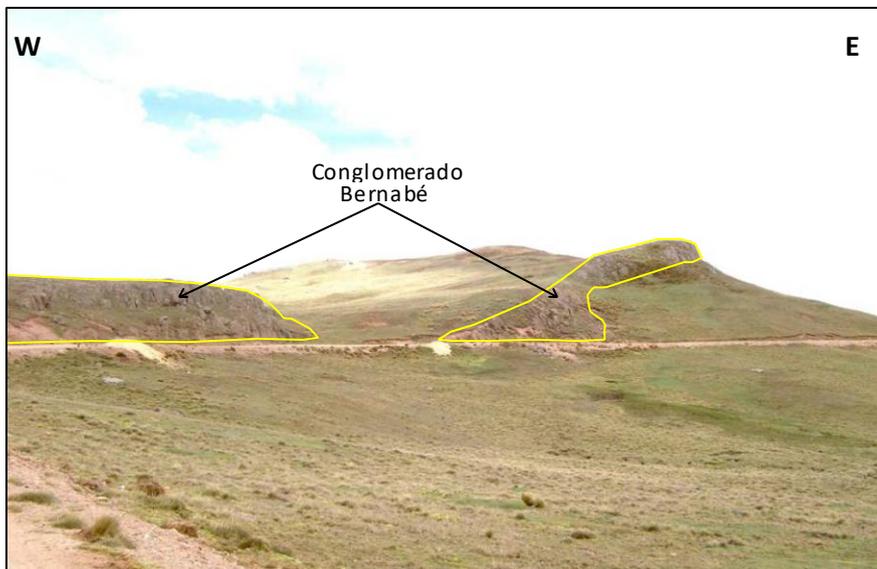
## 2) Formación Media

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:

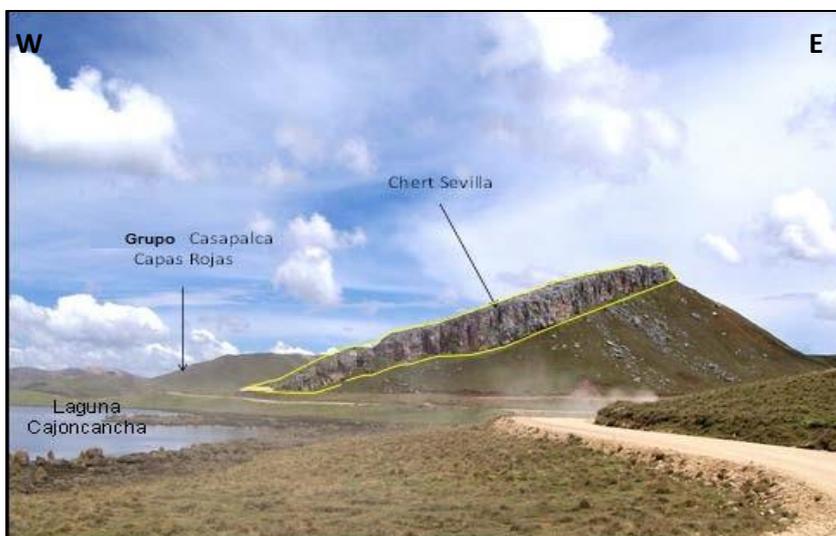
**Horizonte Base.-** Conformada por el **conglomerado Bernabé** (Ver Figura N°3.2) que es un metalotecto importante de la región con un espesor de 40m y está constituido por clastos de cuarcita de 2-10cm de diámetro y matriz arenosa.

**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 riolíticas de color gris blanquecinos, presentan una pseudo estratificación. La pseudo estratificación se encuentra discordante a las rocas sedimentarias y carbonatadas de la Formación Casapalca extendiéndose más hacia el Oeste y la divisoria de aguas de Antajirca (cerca al prospecto Don Miguel).

#### **VOLCÁNICOS HUAYLLAY Terciario Superior (Plioceno)**

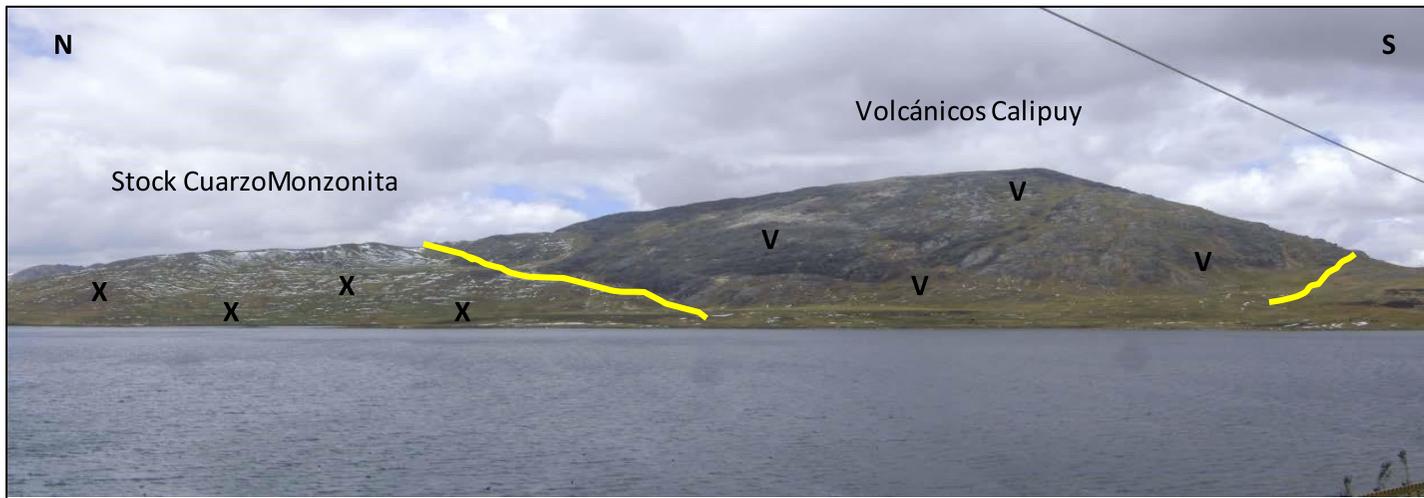
Está compuesto por tufos grises, brechas y cenizas volcánicas de carácter ácido, riolitas y riodacitas, de grano grueso, de color gris marrón claro. Presenta estructura fluidal y hay presencia de cuarzos bipiramidales de 1 a 5mm y cristales de biotita.

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 fluvioglaciares como morrenas, turbales y conos de escombros que cubren las partes bajas.



: Las líneas de color amarillo delimitan las rocas del Volcánico Calipuy que suprayace al intrusivo de composición Cuarzo-Monzonita. Foto mirando al Este de la Mina Islay.

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA LOCAL - ISLAY

UNIDADES CRONOESTRATIGRAFICAS				UNIDADES LITO ESTRATIGRAFICAS					SUCESO GEOLOGICO		MILLONES AÑOS	ROCAS INTRUSIVAS	
ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD	GRUPO	FORMACION	UNIDAD	COLUMNA	SIMBOLO	GROSOR mts.	LITOLOGÍA			
<b>MESOZOICO</b>	<b>CRETÁCICO</b>	SUPERIOR	Paleoceno	Eoceno	C A S A P A L C A	SUPERIOR		Jm	550	Calizas masivas de colores claros.	PERUANA	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.			
<b>CENOZOICO</b>	<b>TERCIARIO</b>	INFERIOR	Oligoceno	Eoceno	C A S A P A L C A	MEDI		KsTi-ca	1000	Volcanicos, piroclásticos, lavas de andesitas y dacitas porfiríticas.	PLEGAMIENTO QUICHUANO	SUPERFICIE PUNA	25
									200	tobas ignimbritas riolitas y andesitas			
									20	morrenas con clastos angulosos a subredondeados en matriz arenosa.			
									10	Depósitos fluvio-glaciares Limo-Arcilla-gravoso			
									1	EROSION GLACIAR ELEVACION ANDES 4,000			
<b>CENOZOICO</b>	<b>CUATERNARIO</b>	RECIEN-TE	Pleistoceno	Holoceno	C A S A P A L C A	MEDI		Q-Dep-R	10	Depósitos fluvio-glaciares Limo-Arcilla-gravoso	EROSION GLACIAR ELEVACION ANDES 4,000	1	
									20	morrenas con clastos angulosos a subredondeados en matriz arenosa.			

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

### 4.11.2. 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.

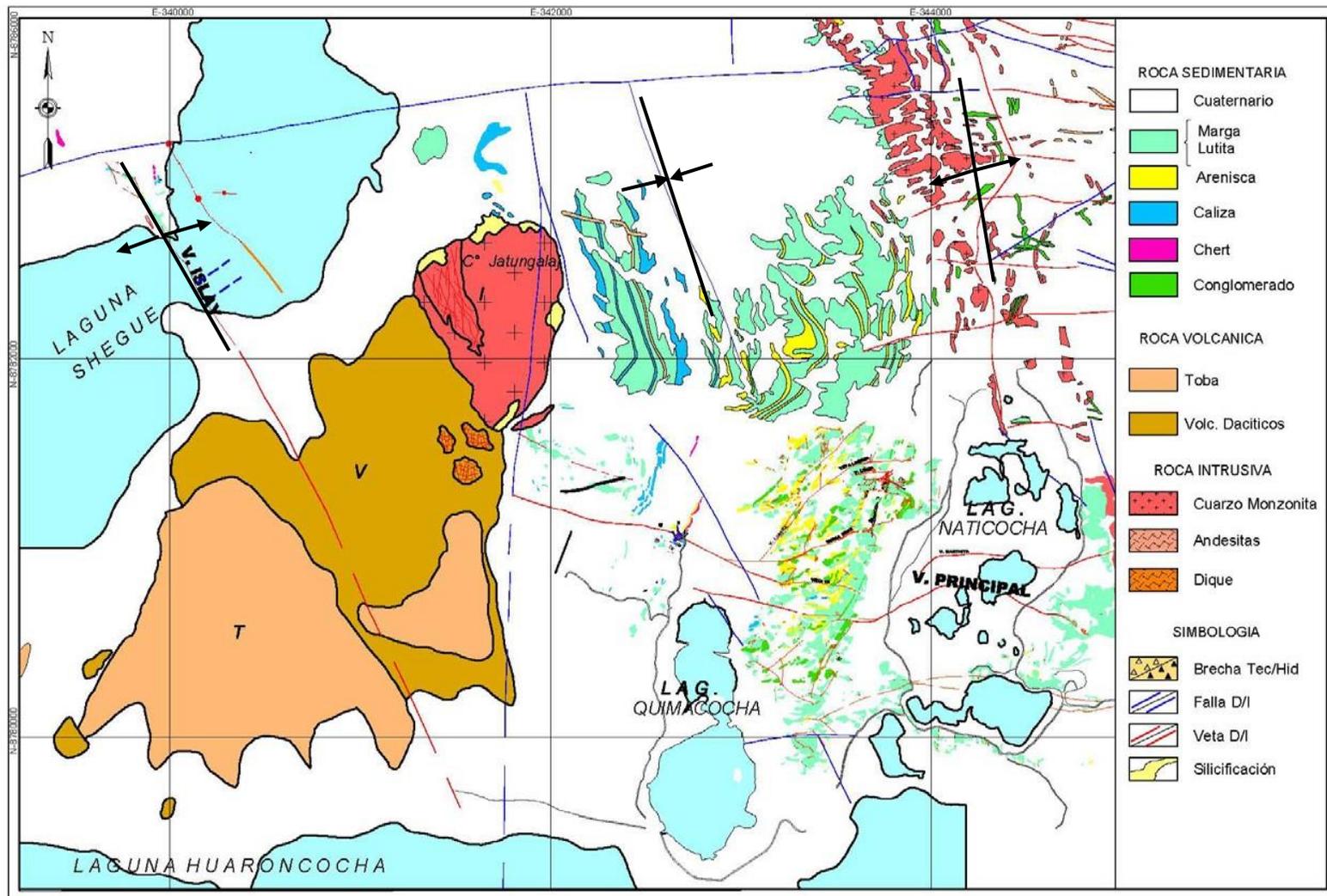
El relajamiento de las fuerzas tectónicas compresionales preintrusivas en el anticlinal Animón – Huarón y la acción del rebote elástico, concentrado a lo largo de la zona axial longitudinal y de la zona axial transversal (parte convexa del anticlinal flexionado) originaron zonas de tensión o de debilidad 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 Geología Chungar).

#### 4.12. Mineralización

Inmediatamente después de la formación de las primeras fracturas preminerales 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 preexistentes se alargaran y profundizaran, formando nuevas estructuras. El brechamiento y el consecuente aumento en la permeabilidad de los minerales depositados facilitaron la circulación de nuevas soluciones hidrotermales de baja temperatura. Los precipitados respectivos presentan texturas 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 rellenadas 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.

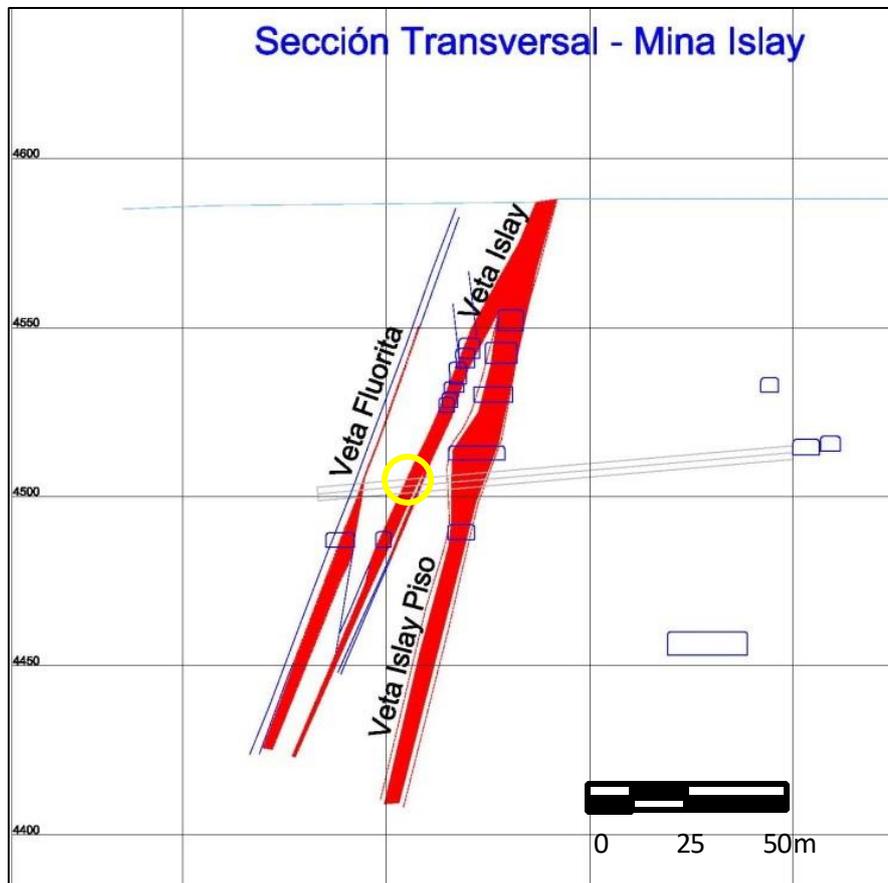
La mineralización en Islay consiste en un relleno irregular de carbonatos emplazados en fallamiento de cizalla, la mineralización consiste de sulfuros base (Pb, Zn, Cu), y Platas Rojas, dispersos en el relleno carbonatado. Las vetas hasta ahora reconocidas en Islay son tres ):

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.



Nótese la Veta Islay delimitada con líneas amarillas, con venillas de calcita y rodocrosita, se observa la textura brechada en marga gris.



Foto mirando al Este, las líneas de color amarillo delimitan a la Veta Islay, sobre las Capas Rojas del Grupo Casapalca.

: Nótese parte del afloramiento en superficie, presentando una serie de carbonatos como calcita y rodocrosita, en una textura brechada.

## Cuerpos Mineralizados (Bolsonadas)

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

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

## Afloramientos

En Islay el reconocimiento y cartografía de mantos se ha realizado en superficie al Este de la Veta Islay, también hay labores y sondajes diamantinos. El afloramiento ubicado es una isla de caliza silicificada, se postula que es un horizonte de un manto, la observación minuciosa indica que tiene rumbo N45°W y buzamiento 60°SW, presenta venillas de cuarzo y calcita, puntos de galena y esfalerita. Los minerales se encuentran fuertemente lixiviados. El protolito es una caliza silicificada en partes con oquedades y compacta en otras .



Manto aflorando en el bloque Oeste con respecto a la Veta Islay, constituido por caliza silicificada con presencia de mineralización de gn y ef.



Nótese la caliza gris silicificada con pequeños nódulos de chert, del Grupo Casapalca, dentro del cuerpo de mineralizado con trazas de gn y ef.

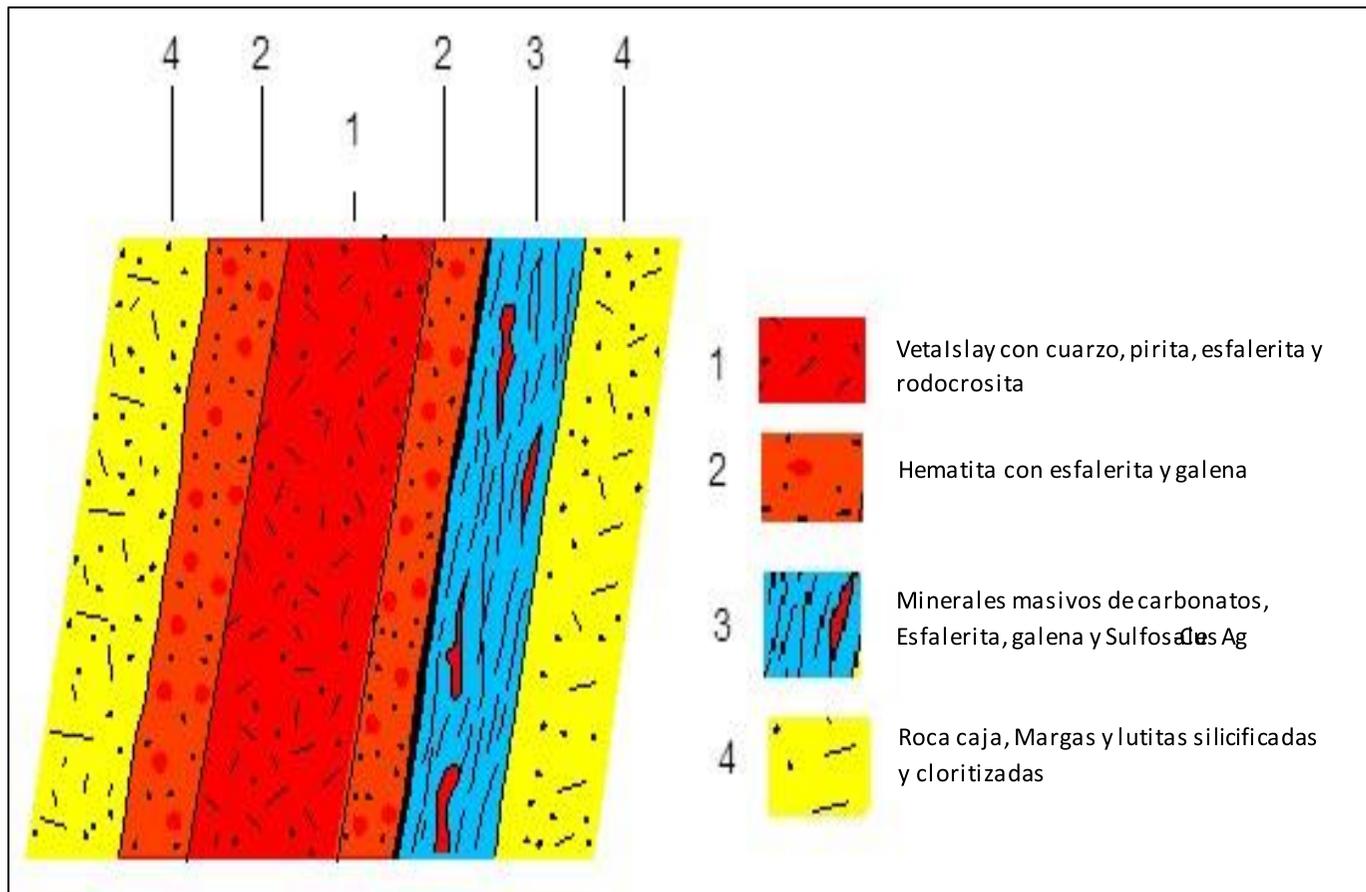
### ***Zoneamiento***

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 megacristales y ganga botroidales de siderita, baritina y rodocrosita. Debido a las reaperturas de las fracturas, los precipitados del tercer ciclo han traslapado a las zonas ocupadas por los precipitados anteriores.



**Figura N°5.8** En el corte esquemático se muestra el comportamiento diferenciado del emplazamiento de los fluidos mineralizantes al atravesar distintos tipos de roca (zonación mineralógica).



Muestra de la Veta Islay: rodocrosita, cuarzo, galena argentífera, esfalerita, pirita, óxidos de hierro y de manganeso.



Muestra de la Veta Islay: galena argentífera, ef. y platas rojas.

## *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 silificación 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.

### Silificación

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 diseminación de sulfuros de mena..

### Piritización

Determinada por la presencia de piritita diseminada 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) 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 Manganese), 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**

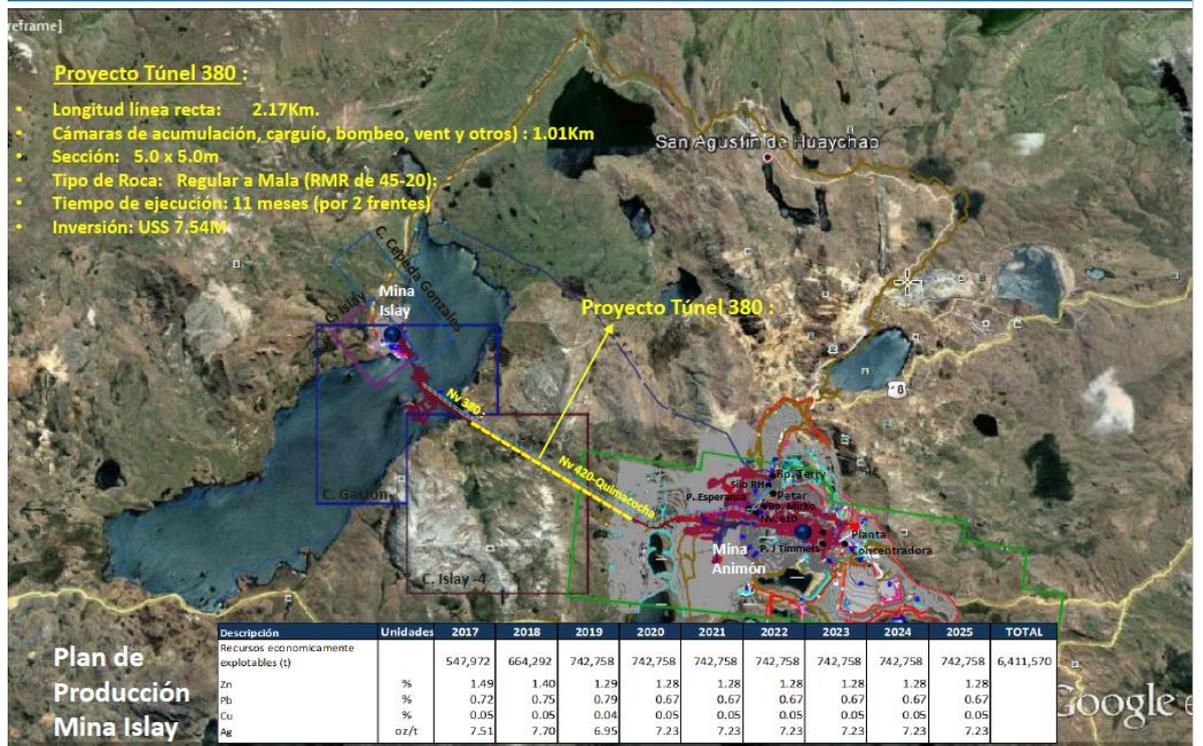
La secuencia paragenética tiene tres ciclos que se mencionan a continuación:

- 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)
- Tercer ciclo, minerales de baja temperatura (siderita, baritina, esfalerita rubia, galena, calcopirita, rodocrosita, cuarzo hialino y calcita).

Tabla de la Secuencia Paragenética de Islay.



# PROYECTO TUNEL 380 - MINA ISLAY



## ✓ GEOMECAÁNICA

Para estudio de los aspectos Geomecánicos que se desarrolla en la mina, se considera los distintos tipos de roca del yacimiento mencionados líneas arriba y las estructuras mineralizadas (vetas) más importantes donde se están desarrollando las operaciones; para el cual se menciona los siguientes puntos que a continuación describimos:

1. Evaluación Geomecánica in-situ.
2. Evaluación y análisis de las labores mineras para un conocimiento detallado de sus características geomecánicas.
3. Caracterización geomecánica de las rocas y estructuras mineralizantes de la labor según normas de la International Society for Rock Mechanics (ISRM).
  - a. Determinación de propiedades físicos-mecánicas de los fragmentos rocosos según normas ISRM, en cada uno de los casos.

- b. Clasificación geomecánica del macizo rocoso del yacimiento según los distintos sistemas de clasificaciones internacionales entre ellos: Bieniawski, Barton y GSI; que son necesarios para la evaluación.
- c. Aguas Subterráneas.

✓ **Caracterización del Macizo Rcoso.**

Para la caracterización del yacimiento se realizó la evaluación y análisis de las de las rocas aflorantes para un conocimiento detallado de sus características; además, se realiza diariamente la valuación geomecánica de todas las labores mineras; en las cuales mediante registros lineales y estaciones micro- tectónico se evalúa su comportamiento.

El sistema de explotación de los tajos es por Corte y Relleno Ascendente, con minado selectivo y voladura en Breasting. Los tajos tienen longitud de 100 a 150m, con accesos rebatibles centrales y Alas de 50 a 75m.

Las vetas tienen distintos rumbos y buzamientos tal como se ha detallado en la descripción geológica del Yacimiento; los anchos de las vetas son variables que fluctúan desde los 2.50m hasta más de 15m.

Las vetas son explotadas en distintos niveles de operación, desde el Nivel 4465 hasta el Nivel 4200 actualmente.

✓ **Caracterización Geomecánica de las Rocas y Minerales de las labores mineras. Según Normas de la Internacional ociety for Rock Mechanics (ISRM)**

Las labores mineras de explotación, están en rocas cajas sedimentarias de naturaleza calcárea descritas líneas arriba y las vetas son estructuras tabulares de mineral poli-metálico; las cuales describiremos y caracterizaremos desde el punto de vista geomecánico a continuación:

✓ **Evaluación Geomecánica de Rocas del Yacimiento**

La mina Animon e Islay está emplazado principalmente en rocas sedimentarias, entre ellas tenemos a la marga roja, marga gris, conglomerados, areniscas y las estructuras mineralizadas.

✓ **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 relleno de micro fisuras, esporádicamente disseminaciones 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/cm<sup>3</sup>.
- Densidad Húmeda 2.67 gr/cm<sup>3</sup>.



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 0.10m.
- 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 tiene 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: la unión entre los fragmentos determinan el comportamiento mecánico del macizo rocoso bajo un nivel dado de tensiones, en este caso son rombo-hedros 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.
- olor: 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./cm<sup>3</sup>.
- Densidad húmeda: 2.73 gr./cm<sup>3</sup>.

### ➤ **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 deprime las aguas fósiles atrapada 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 rombo-hedros; las cinco familias de discontinuidades, forman fragmentos hetero-dimensionales.
- **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 ó 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./cm<sup>3</sup>.
- **Densidad húmeda:** 2.67 gr./cm<sup>3</sup>.

### ➤ **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.



### **Macizo rocoso del conglomerado, los crestones.**

- 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 atrapada 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<sup>3</sup>. Y Densidad húmeda: 2.74 gr./cm<sup>3</sup>.

➤ **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, limpias 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 atrapada 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.

En Animon hasta el Nivel 250, el agua de mina en todas las labores es mayor a 25 IL/Min en 10 metros de labor, principalmente por goteo esto significa como zonas húmedas; mientras que en los Niveles 200 y 175 el agua se incrementa hasta flujos ligeros mayor a 40 L/Min en 10 m de longitud, esto en la estructura mineralizada que es más permeable, y es temporal hasta que baje la napa freática.

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

En Animon e Islay están presentes e influyen los siguientes agentes estabilizadores, los cuales desarrollaremos resumidamente:

#### ➤ **Fallas Geológicas Ocultas**

Estas se presentan dentro del macizo rocoso generalmente próximos a la zona excavada, principalmente están hacia la c/techo, estas han sido formadas debido a varios factores como: discontinuidades formadas en el emplazamiento, esfuerzos, presión hidrostática, presión litostática, gravedad, peso específico y procesos de relajación. Estas condiciones generan desprendimientos, derrumbes, asentamientos y/o caída de rocas, muchas veces sin manifestación visible, simplemente caen.

Los agentes estabilizadores son los efectos de voladura, perforación, labores mineras contiguas y movimientos sísmicos; con manifestaciones de chispeos de roca y sonidos o crujidos de relajación, manifestaciones visibles como el agrietamiento del shotcrete ó el hundimiento de las placas de los pernos o la convergencia.

### ✓ **Orientación de excavación de una labor en función a la estabilidad**

Tratándose de una veta mineralizada la única opción de realizar la explotación es sobre o paralelo a la misma; generalmente en yacimientos filonianos la mineralización es relleno de los vacíos formados por el desplazamiento de fallas geológicas; por lo que, estas aberturas ya se encuentran perturbadas

Estructuralmente desde su origen. Además, durante la precipitación de minerales las rocas madre son alteradas por los fluidos o aguas calientes que salen por las aberturas, que lo descomponen o las transforman en otros minerales, principalmente de menor resistencia y están en contacto con la veta.

✓ **Determinación de los Dominios Estructurales**

Los dominios estructurales realizados con el modelamiento numérico dieron en resumen condiciones de estabilidad general, en base a la orientación de discontinuidades en función a la orientación de la orientación de las vetas.

Además, se indica las condiciones estructurales generales sobre veta; el Factor de seguridad con sostenimiento aplicado sobre veta; el Estado Tensional y las Condiciones de Puentes sobre vetas. Tal como se indica a continuación en el Resumen:

✓ **Condición de Estabilidad General**

**Orientación de las discontinuidades vs. Orientación de la veta**

Dip Direction (°)	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: Diseño estructural de túneles, G. Rivera Torres, U. de Chile)

**Condiciones Estructurales Generales sobre Veta**

Vetas Animon	Nro. de Familias Principales	Condición de estabilidad general: Orientación de las discontinuidades vs. orientación de la veta
María Rosa	4 Familias	REGULAR
Ramal 85	4 Familias	FAVORABLE
Lorena	4 Familias	DESFAVORABLE

Karina	5 Familias	DESFAVORABLE
Carmen	4 Familias	DESFAVORABLE – MUY DESFAVORABLE
Principal	5 Familias	DESFAVORABLE – MUY DESFAVORABLE
Elva	4 Familias	DESFAVORABLE
San Pedro	4 Familias	DESFAVORABLE
Split NW 1	4 Familias	DESFAVORABLE
Rml Piso Princ.	4 Familias	DESFAVORABLE
Rml Piso Loren	4 Familias	DESFAVORABLE

<b>Vetas Islay</b>	<b>Nro. de Familias Principales</b>	<b>Condición de estabilidad general: Orientación de las discontinuidades vs. orientación de la veta</b>
Anita	4 Familias	SOSTENIMIENTO
Escondida	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Celeste	4 Familias	ESTABLE
Islay Piso	5 Familias	DESFAVORABLE
Islay	4 Familias	DESFAVORABLE
Lizeth	5 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Lizeth piso	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Sur	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Sur Techo	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Milet.	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
Fluorita	4 Familias	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO

✓ **Tipo del Terreno a Excavar (Excavación del Túnel)**

El macizo rocoso está conformado por margas rojas y las características del macizo rocoso donde se ejecutará la excavación es del tipo 4, presentando un RMR que varía de 35 a 50 lo que nos indica que es un material de mala a regular y como el cruce pasa con una cobertura de 30 metro debajo de la carretera principal, será necesario realizar una voladura de contorno controlado y realizar el sostenimiento preventivo con concreto lanzado de 2". Después de cada disparo instalar cimbra metálica con un espaciamiento de 1.2 metros, revestida con plancha metálica y topeado con bolsas de concreto pobre. 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 (Rt) = 00 hasta 2,3 Mpa

Angulo de fricción ( $\phi$ ) =  $< 32^\circ$

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	$RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$	
Q	Entre: 0.008 a 0.208	

Tipo de Roca Excepcionalmente Mala a Muy Mala



Tipo de Roca Larga Gris

***Ensayos Geomecánicos***

**Ensayos de Corte Directo:**

Ángulo de Fricción Residual (°) De 30.79 a 28.53

Cohesión (MPa) De 0.042 a 0.134

**Propiedades Físicas:**

Densidad Seca (gr./cm<sup>3</sup>) De 2.08 a 2.64

Densidad Húmeda (gr./cm<sup>3</sup>) 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/m<sup>3</sup>) De 20.39 a 25.85

**Ensayos de Compresión Simple**

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm<sup>2</sup>)

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 ( $\phi$ ) = Entre 20° a 30°.

Parámetros considerados:

RQD	Índice de calidad de roca	15 – 45%
Jn	N° 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	$RQD/Jn \times Jr/Ja \times Jw/SRF$	
Q	Entre: 0.06 a 6	

Tipo de Roca Extremadamente Mala a Regular.



**Tipo de Roca Marga Roia**

***Ensayos Geomecánicos***

**Ensayos de Corte Directo:**

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

**Propiedades Físicas:**

Densidad Húmeda (gr./cm <sup>3</sup> )	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 <sup>2</sup> )	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 las 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 ( $\phi$ ) = 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

Roca de buena a mala



**Tipo de Roca Conglomerado**

**Ensayos Geomecánicas:****Ensayos de Corte Directo:**

Ángulo de Fricción Residual (°) 26.34

Cohesión (MPa) 0.145

**Propiedades Físicas:**

Densidad Seca (gr./cm<sup>3</sup>) 2.65

Densidad Húmeda (gr./cm<sup>3</sup>) 2.67

Porosidad Aparente (%) 2.34

Absorción (%) 0.89

Peso Específico Aparente (KN/m<sup>3</sup>) 25.93

**Ensayos de Compresión Simple:**

Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm<sup>2</sup>) 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 (Brasilero):**

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 ( $\phi$ ) = 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 (°) 26.57

Cohesión (MPa) 0.114

#### Propiedades Físicas:

Densidad Seca (gr./cm<sup>3</sup>) 2.73

Densidad Húmeda (gr./cm <sup>3</sup> )	2.74
Porosidad Aparente (%)	1.36
Absorción (%)	0.50
Peso Específico Aparente (KN/m <sup>3</sup> )	<b>Ensayos de</b> 26.71
<b>Compresión Simple:</b>	
Resistencia a la Compresión Simple (kg/cm <sup>2</sup> )	936.77
Resistencia a la Compresión Simple (MPa)	91.80
<b>Ensayos de Propiedades Elásticas</b>	
Módulo de Young (GPa)	9.59
Poisson	0.31
<b><i>Ensayos de Tracción Indirecta (Brasilero)</i></b>	
Resistencia a la Tracción (MPa)	5.07

## **Tipo de Sostenimiento**

### **Marga Gris**

El tipo de sostenimiento recomendado para este tipo de terreno es:

Shotcrete 2" de espesor con pernos hydrabolt de 7 pies, en forma sistemático a 1.50 m, de espaciamiento, en tramos de fallamiento se refuerza con malla electro soldada de 2x2 de 8 más Shotcrete

1.5" de espesor, más pernos hydrabolt de 7 pies en forma puntual. Este tipo de terreno es característico en todo el trayecto del túnel el cual se presentara en forma esporádica y en tramos cortos que varía de 3.00 m. alcanzando una longitud hasta los 20 mt; en muchas oportunidades se presentaran en un ancho menor a los 3.00 mt, el cual se le considerara como fallas geológicas; Motivo por el cual se reforzara con doble capa de Shotcrete 1.5 más pernos hydrabolt, en muchas ocasiones se colocaran cimbras metálicas a 1.20 m. de espaciamiento. Es el terreno que requiere sostenimiento en forma permanente.

Se realizará sostenimiento con concreto lanzado vía húmeda con fibra de acero de 2" de diámetro, más pernos de anclaje de 7' de longitud y malla galvanizada (de ser necesaria), de acuerdo al tipo de terreno y siguiendo las recomendaciones de la siguiente tabla Geomecánica.

En zona donde el macizo rocoso es extremadamente mala y ya no son posible los trabajos de sostenimiento mencionado, se ha visto por

conveniente programar la instalación de cimbras de acero de 4m x 3.65m x 13 lb/yd.

### **Marga Roja**

El sostenimiento recomendado para este tipo de terreno es:

Shotcrete 2" de espesor con pernos hydrabolt de 7 pies, en forma sistemático a 1.80 m, de espaciamiento, solo en tramos que presentan fracturamiento, generalmente se colocara sostenimiento para minimizar los índices y frecuencia de seguridad.

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**

El sostenimiento recomendado para este tipo de terreno es:

Pernos hydrabolt de 7 pies, en forma sistemático a 1.50 m, de espaciamiento, no requiere refuerzo con concreto lanzado, excepcionalmente se colocara sostenimiento con Shotcrete cuando haya presencia de falla o contactos con otros tipo de roca que es natural en todo macizo rocoso.

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 Geomecánica realizara un seguimiento diario de la labor según cómo avanza, es ahí donde se determinara el tipo de sostenimiento adecuado para los contactos y/o presencia de fallas en todo el trayecto del túnel.

### **Areniscas**

El sostenimiento recomendado para este tipo de terreno es: 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 colocaran 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 empleara el tipo de sostenimiento adecuado y recomendado.

## CONCLUSIÓN

1. En la Mina Animon los macizos rocosos y las rocas caja de las estructuras mineralizadas es incompetente, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas de muy mala calidad, donde el riesgo es la caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud.
2. En la Mina Islay los macizos rocosos y las rocas caja de las estructuras mineralizadas es incompetente, de acuerdo a las evaluaciones geomecánicas, se presenta rocas mala calidad, donde el riesgo es la caída de rocas, derrumbes y / o asentamientos de gran magnitud.
3. Se puede realizar un promedio aproximado de las características geomecánicas, el espaciado de las juntas se encuentra entre 0,05 a 0,30 m, las familias de discontinuidades es en promedio 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.
4. Luego de realizar la evaluación geomecánica se diseñó, para el control y la estabilización de las cajas una capa de 2" de concreto lanzado (Shotcrete) como elemento preventivo de sostenimiento y como sostenimiento definitivo utilizamos pernos compresión y fricción axial de 7 pies para mantener confinado el macizo rocoso.
5. Se tiene mucho cuidado de examinar y definir las aberturas máximas, los tiempos de auto-soporte, y determinar el distanciamiento entre perno y perno.
6. Se evaluó un escenario de producción del 2017 al 2025, con un tonelaje total de 6'411570 toneladas de mineral económicamente explotable, que contribuye para que se construya el túnel.
7. Existe la oportunidad de un potencial de recursos de minerales en la zona de construcción del túnel (Concesión Islay4).

## RECOMENDACIONES

1. Se sugiere construir el túnel Nv.380, con la finalidad de contar con la infraestructura subterránea para exploración de la concesión Islay 4, permitiendo de esta forma el incremento de recursos geológicos para prolongar la vida de la mina Islay (mineral potencial: 3,35Mt con 7.18 onzAg/t).
2. Se sugiere construir el Túnel Nv.380 con la finalidad de tener integrado las operaciones de mina Islay e Animón. Asimismo, ello permitirá la optimización de las operaciones Unitarias en ambas minas.
3. Se sugiere construir el Túnel 380 para contar con accesos adicionales de emergencia a ambas minas subterráneas y dar cabeza al sistema de ventilación y continuar descendiendo a niveles inferiores con la explotación del mineral potencial.
4. Se sugiere evaluar los impactos sociales- ambientales pre y post construcción Túnel 380, buscando alternativas que impacten en favor de la comunidad
5. Se recomienda diseñar el tipo de sostenimiento de acuerdo al tipo de litología y a los parámetros de geomecánica.
6. Cuando una labor subterránea es excavado en zonas deleznable, sin cohesión, se recomienda en forma imprescindible instalar cimbras metálicas en calidad de soportes temporales con la finalidad de conservar la sección de excavación durante los primeros días. Con el transcurrir del tiempo, para evitar colapsos y derrumbes que comprometan la seguridad, este soporte debe complementarse y tener calidad de soporte permanente.
7. Se recomienda que para decidir instalar cimbras metálicas debe ser el último recurso con que cuenta el constructor de la labor subterránea cuando el macizo rocoso opone un alto grado de dificultad al avance de la excavación; como al tomar esta opción implica sobrecostos que posibilitarán un encarecimiento de la obra.