

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



**TESIS**

**Evaluación geomecánica en el diseño de sostenimiento  
subterráneo en la unidad económica administrativa Huachocolpa  
Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.**

**Para optar el título profesional de:**

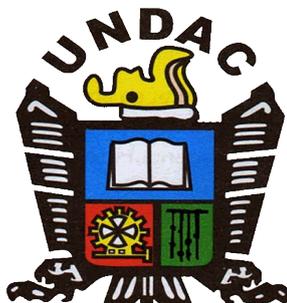
**Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Edgar Raúl GARCÍA RAMOS**

**Asesor: Mg. Ramiro DE LA CRUZ FERRUZO**

**Cerro de Pasco - Perú - 2019**

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



**TESIS**

**Evaluación geomecánico en el diseño de sostenimiento  
subterráneo en la unidad económica administrativa Huachocolpa  
Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.**

**Sustentado y aprobado ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Magno LEDESMA VELITA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Eder Guido ROBLES MORALES**  
**MIEMBRO**

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis Padres, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron.

A mi amada esposa y mis queridos hijos quienes son mi motor y motivo; por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

## **AGRADECIMIENTOS**

Es preciso y oportuno dar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me apoyaron para realizar este trabajo, que fue el fruto de un intenso laboreo y la perseverancia. Asimismo, mi agradecimiento a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Geología por sus comentarios al realizar este trabajo. De una forma especial a los representantes de la UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA HUACHOCOLPA UNO-COMPAÑÍA MINERA CAUDALOSA S.A. por permitirme realizar el presente estudio.

## **RESUMEN**

El estudio Geomecánico realizado en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A., es un trabajo que nos permite dar a conocer los sistemas de valorización del macizo rocoso y dar un soporte aplicando la utilidad de un software minero como ayuda para ver la orientación de las discontinuidades, análisis de estabilidad, cuñas y esfuerzos alrededor de una labor subterránea y todo esto aplicado al diseño de sostenimiento en las labores subterráneas.

En una primera etapa se realizaron trabajos de Geomecánica operacional (el día a día), en vista que la Mina se encuentra en constante cambio, es dinámica y la operación requiere un seguimiento de los distintos proyectos en ejecución.

En una segunda etapa, se realizan investigaciones básicas en Geomecánica, con el fin de obtener la información Geomecánica necesaria para evaluar los factores principales de la estabilidad y estimar parámetros geomecánicos básicos.

Como parte de las investigaciones básicas se han realizado trabajos de caracterización del macizo rocoso desde el punto de vista de su estructura y calidad, en base al mapeo geomecánico de las labores mineras subterráneas, sectorización de labores en función a un sistema de valoración de macizo rocoso RMR'89.

**Palabras claves:** Diseño subterráneo; mapeo geomecánico.

## **ABSTRACT**

The Geomecánico study realized in the U.E.A. HUACHOCOLPA UNO of the Compañía Minera CAUDALOSA SA, is a job that allows us to make known the systems of valorization of the rock mass and to give a support applying the utility of a mining software as help to see the orientation of the discontinuities, stability analysis, wedges and efforts around an underground work and all this applied to the design of support in the underground works.

In the first stage, operational Geomechanics work was carried out (day to day), since the Mine is in constant change, it is dynamic and the operation requires a follow-up of the different projects in execution.

In a second stage, basic research in Geomechanics is carried out, in order to obtain the necessary Geomechanical information to evaluate the main factors of stability and estimate basic geomechanical parameters.

As part of the basic investigations, work has been carried out to characterize the rock mass from the point of view of its structure and quality, based on the geomechanical mapping of the underground mining works, sectorization of works according to a rock mass assessment system RMR'89.

**Keywords:** Underground design; geomechanical mapping.

# INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INDICE	
INTRODUCCION	

## CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DETERMINACION DEL PROBLEMA.....	10
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	11
1.3. OBJETIVOS.....	11
1.4. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	12
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION.....	13
1.6 LIMITACIONES.....	14

## CAPITULO II MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES.....	15
2.2. BASES TEORICO – CIENTIFICOS.....	15
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	50
2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	52
2.5 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES.....	52

## CAPÍTULO III UNIDAD ECONOMICA ADMINISTRATIVA HUACHOCOLPA UNO COMPAÑÍA MINERA CAUDALOSA S.A.

3.1. GENERALIDADES.....	53
3.2. UBICACIÓN.....	54
3.3. ACCESIBILIDAD.....	56
3.4. CLIMA Y VEGETACIÓN.....	56

3.5 GEOLOGÍA.....	56
-------------------	----

**CAPITULO IV  
METODOLOGIA**

4.1 TIPO DE INVESTIGACION.....	60
4.2 DISEÑO DE INVESTIGACION.....	60
4.3 POBLACION Y MUESTRA.....	61
4.4 METODOS DE LA INVESTIGACION.....	61
4.5 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	61
4.6 TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	62

**CAPITULO V  
INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA**

5.1 INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA DE CAMPO.....	63
5.2 MAPEO GEOMECÁNICO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS.....	63
5.3 INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA DE LABORATORIO.....	64
5.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA.....	65
5.5 CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA EN LABORES TEMPORALES.....	84
5.6 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA EN LABORES PERMANENTES.....	91
5.7 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA EN LABORES TEMPORALES.....	94
5.8 RESISTENCIA DE LA ROCA.....	97
5.9 CONDICIONES DEL AGUA SUBTERRANEA.....	101

**CAPITULO VI  
ANÁLISIS Y RESULTADOS**

6.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	105
6.2 DIMENSIONAMIENTO DE TAJOS.....	108
6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA.....	116
6.4 DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO.....	117
6.5 ESTIMACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO.....	120

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXO

## **INTRODUCCIÓN**

U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de Compañía Minera CAUDALOSA S.A., se encuentra en una etapa de expansión, para lo cual viene ampliando sus labores de explotación y desarrollo en los diferentes niveles, generándose así diferentes problemas de inestabilidad en el macizo rocoso. A fin de organizar y mantener una adecuada estrategia de control de la estabilidad de la roca en las labores mineras, el personal de nuestra mina debe estar familiarizado con las características de la masa rocosa. En tal sentido, este estudio va ayudar al personal a hacer del ambiente subterráneo un lugar de trabajo más seguro. Cuando el personal de la mina sea capaz de conocer la roca, va estar con mejor capacidad de identificar los peligros potenciales que podrían causar accidentes. Conocer la roca también permitirá tomar decisiones correctas sobre diferentes aspectos relacionados con las labores mineras, entre otras, se podrá establecer la dirección en la cual se deben de avanzar las excavaciones, el tamaño de las mismas, el tiempo de exposición abierta de la excavación, el tipo de sostenimiento a utilizar y el momento en que este debe de ser instalado.

El Estudio Geomecánico es un trabajo que nos permite dar a conocer el sistema de valorización del macizo rocoso y así dar un soporte aplicando la utilidad de un software minero como ayuda para ver la orientación de las discontinuidades, análisis de estabilidad, cuñas y esfuerzos alrededor de una labor subterránea y todo esto aplicado a la seguridad minera.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DETERMINACION DEL PROBLEMA**

Al no realizar un trabajo de descripción y clasificación geomecánica del macizo rocoso al detalle en los proyectos mineros de la U.E.A. Huachocolpa Uno de Compañía Minera Caudalosa S.A., generando como consecuencia desarrollos mineros como túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, entre otros, completamente inestables ocasionando así accidentes a los equipos utilizados, y al personal colaborador que finalmente es un recurso no recuperable. El personal colaborador que trabaja en la minería de pequeña escala desconoce sobre la caracterización geomecánica y diseño de sostenimiento en el cual operan, esto induce a realizar trabajos inseguros, esto está reflejado en las estadísticas nacionales del Ministerio de Energía y Minas, que nos indica que un 30% de los accidentes mortales es por

desprendimiento de rocas, por el cual el presente estudio está dirigido a dar a conocer al personal colaborador que opera en la U.E.A. Huachocolpa Uno de Compañía Minera Caudalosa S.A, la caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento ayudará de esta forma el personal para que pueda realizar sus operaciones mineras seguras y estables.

## **1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA**

De la formulación del problema se plantea las siguientes interrogantes:

### **1.2.1 Interrogante general**

¿Qué importancia tiene el estudio geomecánico del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento de labores en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.?

### **1.2.2 Interrogantes específicas**

¿Cuáles son los parámetros geomecánicos a considerar dentro del estudio del macizo rocoso en la en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.?

¿Cuál será el diseño de sostenimiento para las labores en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.?

## **1.3. OBJETIVOS**

El presente trabajo tiene como propósito el estudio geomecánico del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento de labores mineras, con el cual se alcanzarán los objetivos:

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para la aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la U.E.A Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Determinar los parámetros geomecánicos a considerar dentro del estudio del macizo rocoso en la en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A
- ✓ Determinar el diseño de sostenimiento para las labores en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A

## **1.4. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA**

Las operaciones mineras que se realizan en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A, son a pequeña escala y en gran número por la cantidad de contratistas que laboran, y la actividad que se realiza es de gran rentabilidad por las leyes altas del contenido metálico que existe en la mineralización del yacimiento, esto influye a que el personal colaborador que labora, realice el trabajo de extracción de manera incontrolada, dejando de lado el conocimiento geomecánico del macizo rocoso, de ahí conocer al detalle la caracterización geomecánica del macizo rocoso, para evitar el mal direccionamiento, sobredimensionamiento de sus desarrollos mineros y plantear un diseño de sostenimiento adecuado.

El estudio geomecánico en muchos casos está asociada a determinar zonas que presentan alteración que tienen impacto sobre la resistencia del macizo rocoso circundante, su estabilidad y auto sostenimiento esto además influenciado por las precipitaciones fluviales, infiltración a aguas subterráneas, mínimos 0.2 mm y máximos 17.3 en épocas de lluvia, que existe en la zona cuyos datos obtenidos en meteorología e hidrología de (SENAMHI, 2017), el cual altera así sus operaciones mineras en el desarrollo de, túneles, tajeos, cortadas, cruceros, chimeneas, que finalmente converge en accidentes de equipos y del personal colaborador, incrementando los costos operacionales.

En ese sentido, se ha orientado el desarrollo del presente “Estudio Geomecánico del Macizo Rocosos y su Aplicación en el Diseño de Sostenimiento de Labores en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A, documento de investigación que permitirá conocer el resultado de un buen diseño de sostenimiento en relación a la caracterización del macizo rocoso y así mismo servirá como guía práctica para los profesionales del rubro minero que laboren en la zona de estudio.

### **1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACION**

El presente estudio es importante porque nos determinará las características Geomecánicas del macizo rocoso y de las principales estructuras mineralizadas, obteniéndose información para su aplicación en el diseño de sostenimiento de labores en la Unidad Económica Administrativa Huachocolpa Uno-Compañía Minera Caudalosa S.A.

## **1.6 LIMITACIONES**

Los resultados del presente estudio solo se aplican para la zona de estudio, sirviendo como fuente de información para similares estudios.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES**

Compañía Minera Caudalosa S.A. viene efectuando explotación de recursos en subterráneo, además en la actualidad es necesario realizar y optimizar su explotación subterránea y por lo tanto se necesita conocer las características geomecánicas del macizo rocoso para su aplicación en el diseño de sostenimiento en la U.E.A. Huachocolpa Uno.

#### **2.2. BASES TEÓRICO – CIENTÍFICOS**

El estudio está basado en información antigua que ha sido investigado por diferentes autores. Los resultados del presente estudio están encaminados a la caracterización Geomecánica del macizo rocoso y las estructuras mineralizadas, mediante la recopilación de datos en campo e información geológica.

Asimismo, se ha revisado y recopilado estudios geológicos existentes como informes, planos, fotografías aéreas, imágenes satelitales, publicaciones e información pública de los distintos prospectos que se encuentran en el área de estudio, desarrollados por varios autores, base de datos de la Compañía Minera Caudalosa S.A., INGEMMET, Sociedad Geológica del Perú.

### **2.2.1 Propiedades físico-mecánico del macizo rocoso**

Las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso son de tipo cuantitativo que permiten predecir el comportamiento mecánico de los macizos rocosos y son directamente aplicables dentro del diseño de ingeniería. (Hoek, E. y Brown, E. T. 1985).

#### **2.2.1.1 Porosidad**

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la muestra, mide la capacidad de una formación para contener agua la cual se expresa en porcentaje. La porosidad se relaciona con la resistencia al esfuerzo cortante. (Blanco, 2005).

#### **Tipos de porosidad:**

- ✓ Absoluta
- ✓ De fisuración

#### **2.2.1.2 Contenido de agua**

Es la relación entre el peso del agua contenida en una roca y el peso de su fase sólida. Se expresa en porcentaje. (Blanco, 2005). Está muy ligado a la porosidad de la muestra y a la profundidad de la que proviene la misma. A mayor contenido

de agua mayor disminución de la resistencia. Ejemplo: Rocas de esmeraldas.

### 2.2.1.3 Peso volumétrico

Es la relación entre el peso de la muestra y el volumen de la muestra. El peso y volumen de la muestra se realiza pesándola en el aire y luego pesándola sumergida en mercurio, observar Figura 1.

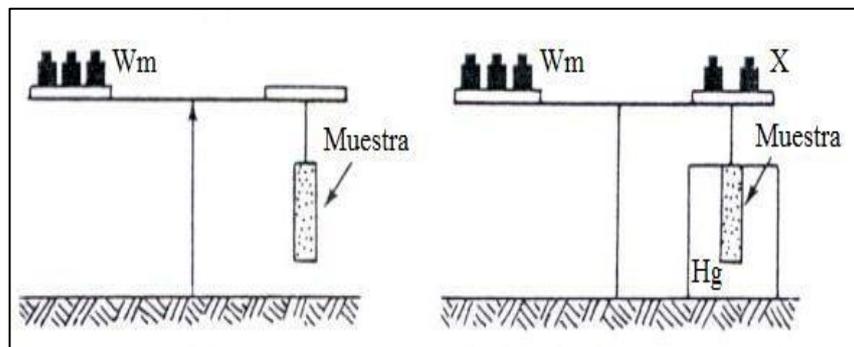


Figura 1. Determinación del peso volumétrico

Fuente: Blanco, R. (2005). Características físico y mecánico estructurales del macizo rocoso. Proyecto CYTED XIII, Córdoba, Argentina.

### 2.2.1.4 Alteración

Las rocas al estar expuestas al medio natural sufren modificaciones en su estructura y composición mineralógica.

Cuando se altera una roca se incrementa la porosidad y por lo tanto se produce mayor absorción de agua.

### 2.2.1.5 Alterabilidad

Es la capacidad de una roca para alterarse en el futuro, Producto a la fisuración, alterabilidad específica, bajo alto del macizo rocoso.

### 2.2.1.6. Sensitividad

La sensitividad se establece al analizar la variación de su permeabilidad al cerrarse o abrirse sus fisuras bajo el efecto de una modificación del estado de esfuerzos aplicados.

Para medir dichas variaciones de permeabilidad se realiza una prueba que consiste en utilizar una probeta cilíndrica de roca con una perforación central la cual se somete a dos tipos de flujo, observar Figura 2.

- ✓ Flujo convergente
- ✓ Flujo divergente

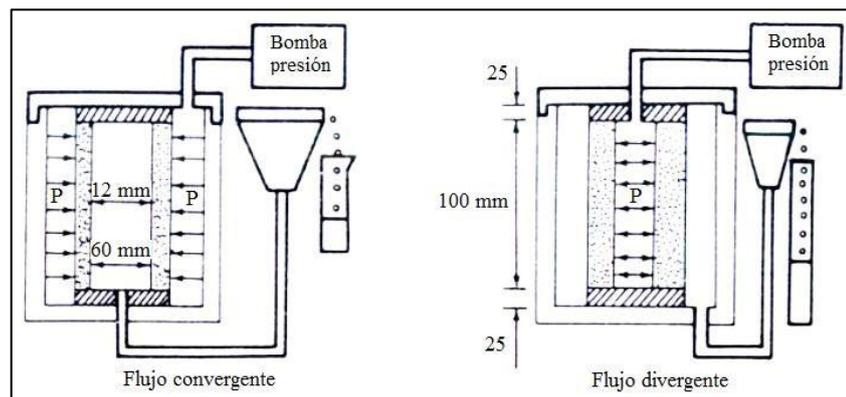


Figura 2. Tipos de flujo para obtener la sensitividad de una muestra de roca  
Fuente: Blanco, R. (2005). Características físico y mecánico estructurales del macizo rocoso. Proyecto CYTED XIII, Córdoba, Argentina.

### 2.2.1.7 Mineralogía

Es identificar los minerales y estudiar sus propiedades de los cuales las rocas están compuestas. (Blanco, 2005).

Dentro de la mineralogía existen dos líneas de trabajo.

**Mineralogía descriptiva.** Se ocupa de estudiar las propiedades y clasificación de los minerales individuales, su localización, sus formas de aparición y sus usos.

**Mineralogía determinativa.** Es el área que ocupa de identificar los minerales presentes en una muestra en función de sus propiedades químicas, físicas y cristalográficas, estas propiedades de los minerales constituye sub especialidades de la mineralogía.

### 2.2.1.8 Deformación

Cuando se somete una muestra de roca a una carga esta tiende a cambiar de forma, de volumen o bien las dos cosas simultáneamente. Durante el período de aplicación del esfuerzo, este y la deformación son inseparables, por lo que se acostumbra a estudiar a la deformación mediante gráficas conocidas como Esfuerzo-

Deformación, tal como se observa en la Figura 3.

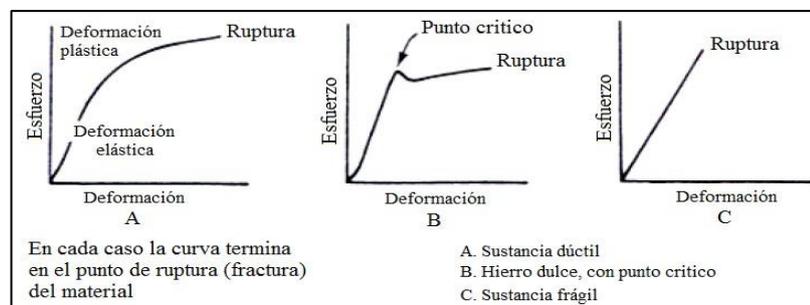


Figura 3. Curvas de deformación

Fuente: Hoek, E. y Brown, E. T. (1985). Excavaciones subterráneas en roca, México, McGraw-Hill.

### 2.2.1.9 Resistencia

Es el esfuerzo máximo que puede soportar una roca sin romperse, tiene tres esfuerzos como variables.

**Compresión:** Que tiende a disminuir el volumen del material.

**Uniaxial:** resistencia a la compresión simple.

Las propiedades mecánicas de las rocas se las puede determinar tanto en laboratorio, en el campo y en el sitio mismo de la obra o proyecto, descripción en el Cuadro 1

**CUADRO 1**  
***Clasificación de las rocas de acuerdo con su resistencia a la compresión***

<b>RESISTENCIA EN MPa</b>	<b>CONDICIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
5 a 20	Muy débil	Sedimentarias alteradas y débilmente compactadas
20 a 40	Débil	Sedimentarias y esquistos débilmente cementados
40 a 80	Resistencia media	Sedimentarias competentes; y rocas ígneas
80 a 160	Resistencia alta	Ígneas competentes, metamórficas; y algunas areniscas de grano fino
160 a 320	Resistencia muy alta	Cuarcitas; rocas ígneas densas de grano

Fuente: Comisión Federal de Electricidad (1979). Manual de diseño de obras civiles, B-3.4, México.

#### **2.2.1.10 Compresión uniaxial.**

Resistencia a la compresión simple, consiste en aplicar a los especímenes de roca cargas axiales sin confinamiento, observar Figura 4 y 5. (González, 2002). Los especímenes son generalmente cilíndricos de 2.5 a 7.5 cm de diámetro y altura igual a dos veces el diámetro, que está

Definido por:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Dónde:

$\sigma_c$  = resistencia a la compresión.

F = fuerza aplicada hasta la rotura

A = sección inicial de la muestra normal a la dirección de la fuerza.

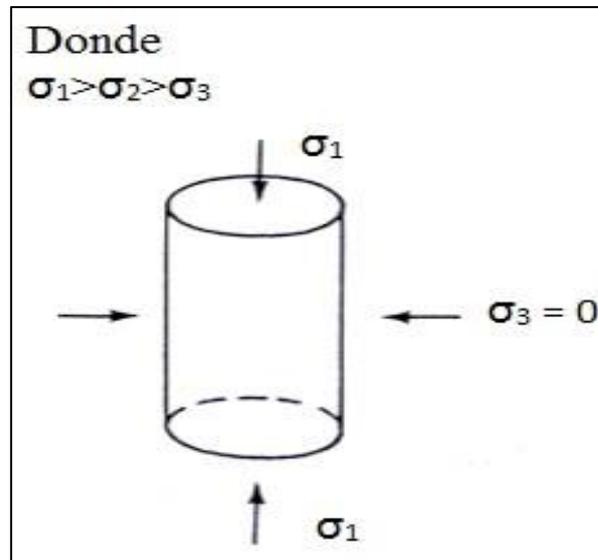


Figura 4. Compresión uniaxial o simple  
Fuente: González, L. (2002). Ingeniería Geológica.

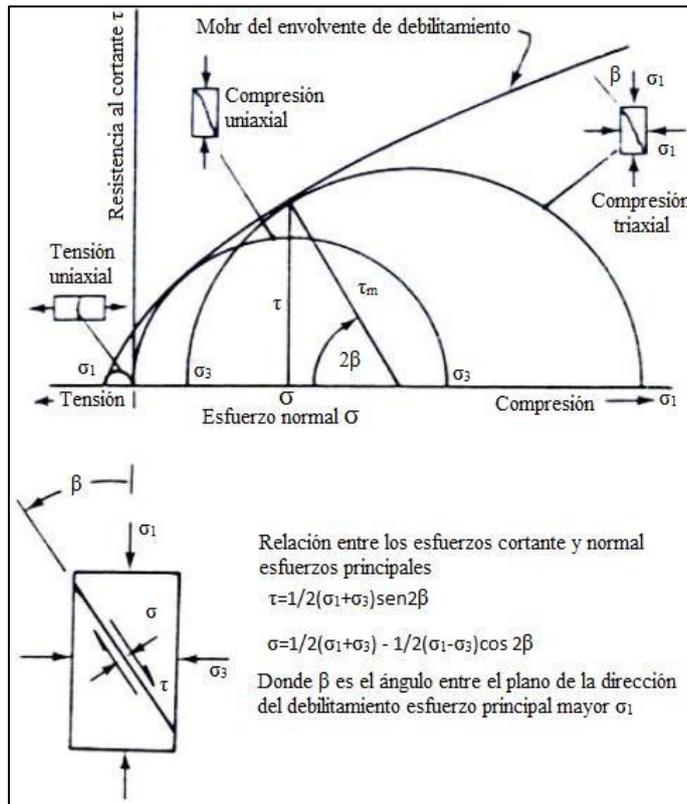


Figura 5. Tipos de esfuerzos  
Fuente: Hoek, E. y Brown, E. T. (1985). Excavaciones subterráneas en roca, México, McGraw-Hill.

### 2.2.2.11 Permeabilidad o conductividad hidráulica

Es la propiedad de algunos materiales de permitir el paso de fluidos a través de ellos. Una roca es permeable cuando permite el paso de una cantidad medible de fluido

En un espacio de tiempo finito, observar Figura 6. Equivale a una velocidad en m/día o cm/s.

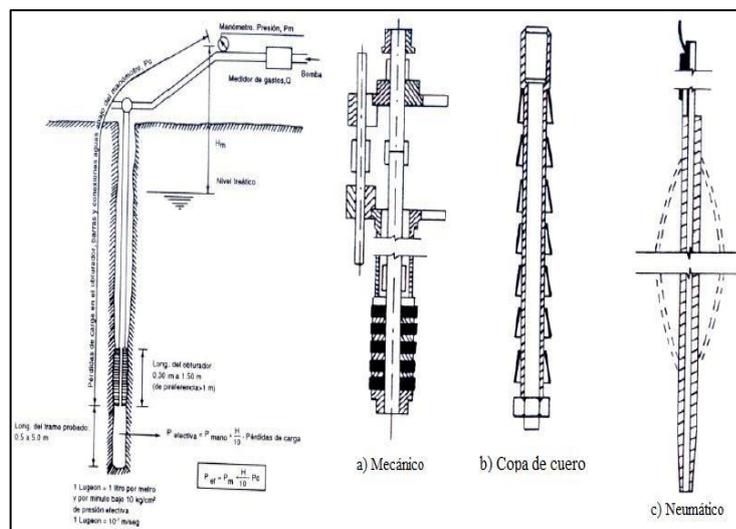


Figura 6. Pruebas de permeabilidad.

Fuente: Hoek, E. y Brown, E. T. (1985). Excavaciones subterráneas en roca, México, McGraw-Hill.

No tiene por qué coincidir la permeabilidad ( $k$ ) con la porosidad ( $n$ ), aunque normalmente lo hacen, con excepción de las pizarras y arcillas que tiene una alta porosidad ( $n$ ) y baja permeabilidad ( $k$ ).

### 2.2.3 Caracterización del macizo rocoso

Dentro de la caracterización del macizo rocoso algunos de estos parámetros, como la rugosidad, resistencia de las paredes, apertura y relleno, determinan el comportamiento mecánico y la resistencia al corte de las discontinuidades. (Ferrer, M. et al., 1999).

### 2.2.3.1 Orientación

Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. (Ferrer, M. et al., 1999). La orientación de las discontinuidades con respecto a las estructuras u obras de ingeniería condiciona la presencia de inestabilidades y roturas a su favor.

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Observar Figura 7. Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro o con el diaclasi metro.

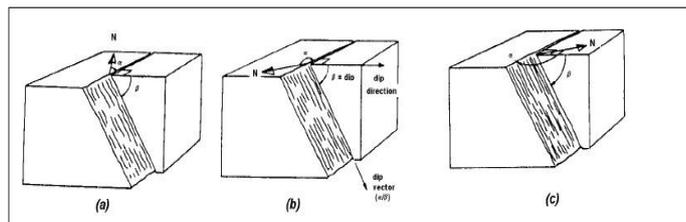


Figura 7. Orientación de discontinuidades

Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

### 2.2.3.2 Espaciamiento

El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques del macizo rocoso y por tanto, (Ferrer, M. et al., 1999). Define el papel que ésta tendrá en el El espaciado

entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques del macizo rocoso y por tanto, (Ferrer, M. et al., 1999). Define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. En macizos rocosos con espaciados grandes, de varios metros, en los procesos de deformación y rotura prevalecerán las propiedades del macizo rocoso o de los planos de discontinuidad según la escala de trabajo considerada y la situación de la obra de ingeniería con respecto a las discontinuidades; si los espaciados son menores, de varios decímetros a 1 o 2 metros, el comportamiento del macizo lo determinarán los planos de debilidad; por último, si el espaciado es muy pequeño el macizo estará muy fracturado y presentará un comportamiento «isótropo», controlado por las propiedades del conjunto de bloques más o menos uniformes, tal como se observa en la Figura 8.

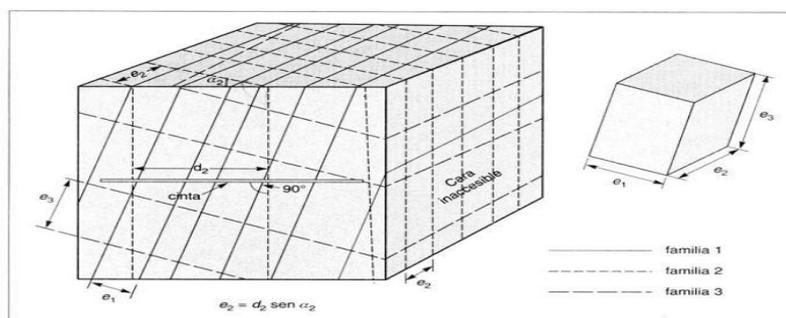


Figura 8. Espaciado de discontinuidades  
Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

### 2.2.3.3 Continuidad o Resistencia

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente.

La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. (Ferrer, M.1999).

Si el afloramiento permite la observación tridimensional de los planos de Discontinuidad, deberán medirse las longitudes a lo largo de la dirección Y del buzamiento, ver Cuadro 2. Las discontinuidades pueden o no Terminar contra otra discontinuidad, debiendo indicarse en la Descripción. Es importante destacar las familias más continuas, ya que Por lo general serán éstas las que condicionen principalmente los planos de rotura del macizo rocoso.

CUADRO-2

*Descripción de la continuidad o persistencia*

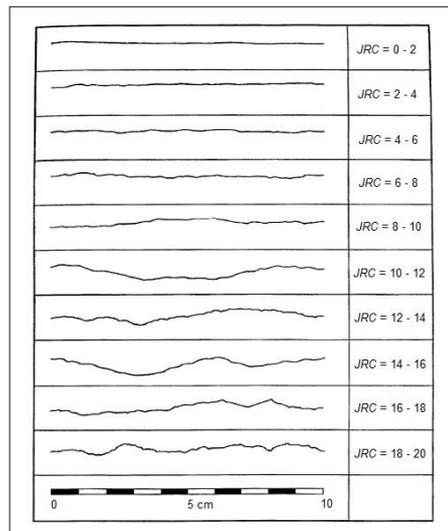
<b>CONTINUIDAD</b>	<b>LONGITUD</b>
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1 – 3 m
Continuidad media	3 – 10 m
Alta continuidad	10 – 20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

### 2.2.3.4 Rugosidad

La descripción y medida de la rugosidad tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos,  $\tau$ , que para discontinuidades sin cohesión puede ser estimada a partir de datos de campo y de expresiones empíricas. La rugosidad aumenta la resistencia al corte, que decrece con el aumento de la abertura y, por lo general, con el espesor de relleno. El término rugosidad se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, observar Cuadro 3. Como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos, definidas en ocasiones como de 1ª y 2ª orden respectivamente. (Ferrer, M. et al., 1999). La descripción de la rugosidad requiere, pues, dos escalas de observación.

CUADRO -3  
*Perfiles típicos de rugosidad*



Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

### **2.2.3.5 Resistencia de las paredes**

La resistencia de la pared de una discontinuidad influye en su resistencia al corte y en su deformabilidad. (Ferrer, M. et al., 1999). Depende del tipo de macizo rocoso, del grado de alteración y de la existencia o no de relleno. En discontinuidades sanas y limpias, la resistencia sería la misma del macizo rocoso, pero generalmente es menor debido a la meteorización de las paredes, los procesos de alteración afectan en mayor grado a los planos de discontinuidad que al macizo rocoso. Por este motivo, junto a la medida de la resistencia de las paredes de la discontinuidad debe ser estimado el grado de meteorización del macizo rocoso.

La resistencia puede estimarse en campo con el martillo Schmidt, aplicándolo directamente sobre la discontinuidad, para medir la resistencia del macizo, o a partir de los índices de campo en general.

En ambos casos las medidas deben realizarse sobre paredes representativas del estado de alteración de las discontinuidades, considerando también las discontinuidades más frecuentes o más significativas en el macizo rocoso.

### **2.2.3.6 Abertura**

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno, descrita en el Cuadro 4. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso, mientras que en superficie la

abertura puede ser alta, ésta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse.

(Ferrer, M 1999). La influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, al modificar las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes. Los procesos de desplazamiento en la discontinuidad o de disolución pueden dar lugar a aberturas importantes.

Su medida se realiza directamente con una regla graduada en milímetros. Cuando la separación es muy pequeña se puede emplear un calibre que se introduce en la abertura. Debe indicarse si la abertura de una discontinuidad presenta variaciones, realizándose medidas a lo largo al menos de 3 m. La descripción se realiza según la terminología. Las medidas han de realizarse para cada familia de discontinuidades, adoptando los valores medias más representativos de cada una de ellas.

CUADRO 4  
*Descripción de las aberturas*

ABERTURA	DESCRIPCIÓN
< 0.1 mm	Muy cerrada
0.1 – 0.25 mm	Cerrada
0.25 – 0.5 mm	Parcialmente abierta
0.5 – 2.5 mm	Abierta
2.5 – 10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1 – 10 cm	Muy ancha
10 – 100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

### 2.2.3.7 Relleno

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de materiales de relleno con propiedades físicas y mecánicas muy variables, observar Figura 9. La presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado. (Ferrer, M. et al., 1999). Debe tenerse en cuenta que si se trata de materiales blandos o alterados, éstos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo si cambia su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas.

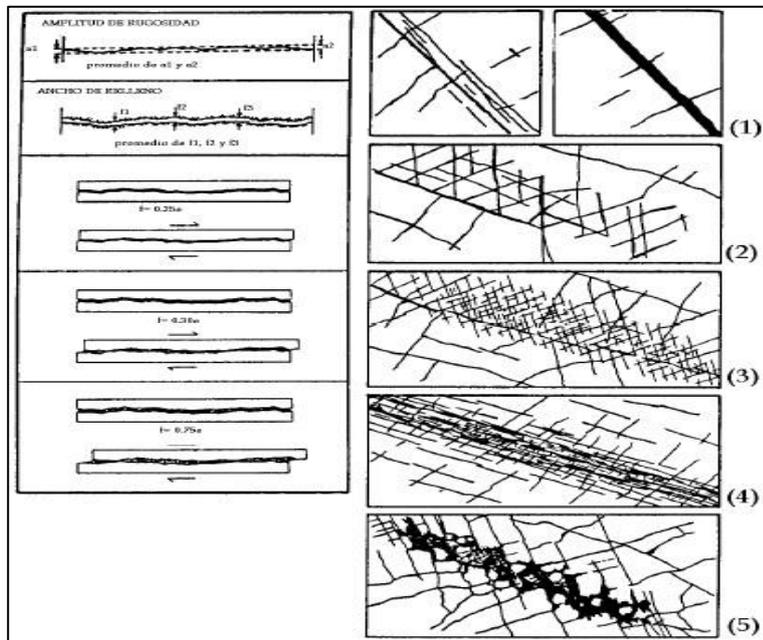


Figura 9. Discontinuidades simples rellenas

Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGM

Las características principales del relleno que deben describirse en el afloramiento son: su naturaleza, espesor o anchura, resistencia al corte y permeabilidad (los dos últimos parámetros de forma indirecta o cualitativa):

La anchura se mide directamente con una regla graduada en milímetros.

La descripción del relleno incluye la identificación del material, descripción mineralógica y tamaño de grana. Si el relleno proviene de la descomposición y alteración del material de las paredes de la discontinuidad, deberá ser evaluado su grado de meteorización, que normalmente será descompuesto o desintegrado.

#### **2.2.3.8 Filtraciones**

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades (permeabilidad secundaria), aunque en ciertas rocas permeables las filtraciones a través del macizo rocoso (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes. (Ferrer, M. et al., 1999). Las observaciones respecto a las filtraciones en discontinuidades, tanto si se presentan rellenas como si aparecen limpias, pueden seguir las descripciones en el Cuadro 5.

**CUADRO-5**  
*Descripción de las filtraciones en discontinuidades*

<b>CLASE</b>	<b>DISCONTINUIDADES SIN RELLENO</b>	<b>DISCONTINUIDADES CON RELLENO</b>
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua
II	Junta seca sin evidencia de agua	Relleno húmedo pero sin agua libre
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua	Relleno mojado con goteo ocasional
IV	Junta húmeda pero sin agua libre	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar caudal en l/min)
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión)
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en l/min y la presión)	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevados

Fuente: Ferrer M. y González V. (1999). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. IGME.

ISRM (1981). Para la caracterización global del macizo rocoso a partir de datos de afloramientos, además de la descripción de sus componentes, el macizo y las discontinuidades, deben ser considerados otros factores representativos del conjunto, como son:

- Número y orientación de las familias de discontinuidades.
- Tamaño de bloque e intensidad de fracturación.
- Grado de meteorización.

#### **2.2.3.9 Número y orientación de familias de discontinuidades**

El comportamiento mecánico del macizo rocoso, su modelo de deformación y sus mecanismos de rotura están condicionados

por el número de familias de discontinuidades. (ISRM, 1981). La orientación de las diferentes familias con respecto a una obra o instalación sobre el terreno puede determinar, además, la estabilidad de la misma.

La intensidad o grado de fracturación y el tamaño de los bloques del macizo rocoso vienen dados por el número de familias de discontinuidades, ver Cuadro 6 y por el espaciado de cada familia. Cada una de las familias queda caracterizada por su orientación en el espacio y por las propiedades y características de los planos.

**CUADRO-6**  
***Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades***

<b>TIPO DE MACIZO</b>	<b>NUMERO DE FAMILIAS</b>
I	Masivo, discontinuidades ocasionales
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otras ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades
IX	Brechificado

Fuente. ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

#### **2.2.3.10 Tamaño de bloques y grado de fracturación.**

El tamaño de los bloques que forman el macizo rocoso condiciona de forma definitiva su comportamiento y sus propiedades resistentes y deformacionales. (ISRM, 1981). La dimensión y la forma de los bloques están definidas por el

número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y su continuidad. La descripción del tamaño de bloque se puede realizar de las siguientes formas, observar Figura 10:

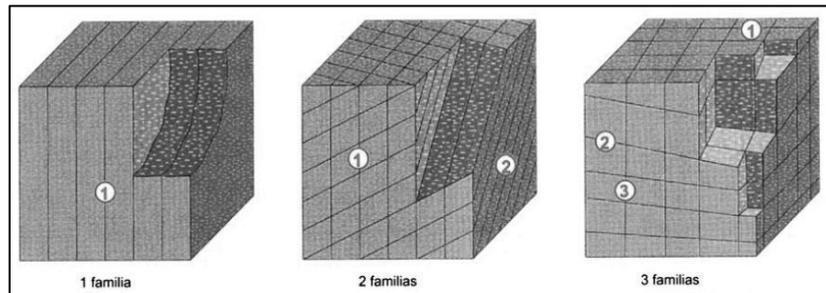


Figura 10. Representación del número de familias mediante diagramas de bloques

Fuente: ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

#### 2.2.3.11 Grado de meteorización

La evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso se realiza por observación directa del afloramiento y comparación con los índices estándares, descripción en el Cuadro 7. En ocasiones puede ser necesario fragmentar un trozo de roca para observar la meteorización del macizo rocoso. (ISRM, 1981).

CUADRO-7  
Grado de meteorización del macizo rocoso

GRADO DE METEORIZACIÓN	TIPO	DESCRIPCIÓN
I	Fresco	No aparecen signos de meteorización
II	Ligeramente meteorizado	La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso está decolorado por meteorización
III	Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados

IV	Altamente meteorizado	Más de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados
V	Completamente meteorizado	Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso.
VI	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.

Fuente: ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

## 2.2.4 Hidrología

### 2.2.4.1 Agua subterránea

En la extracción minera subterránea es indudable que cada año se extraen muchos miles de millones de productos minerales y para ello, tienen que extraerse grandes cantidades de agua para obtener estos resultados; agua que de no ser extraída haría imposible el trabajo en la mina. (Wendor, 1980). Las fallas naturales o las grietas producidas por las explotaciones rompen la continuidad de los mantos impermeables y son el camino de entrada de las aguas, pero el agua más corriente en las minas profundas procede de niveles acuíferos subterráneos, aunque excepcionalmente pueda una grieta dar entrada a aguas superficiales directamente. La mayoría de las rocas son impermeables y las grietas que en ellas se produzcan suelen impermeabilizarse pronto. Naturalmente las rocas porosas son un peligro.

#### 2.2.4.2 Acuíferos

Las formaciones que contienen y transmiten agua del subsuelo reciben el nombre de acuíferos. Los tipos principales son 2: no confinados y confinados.

**Acuíferos no confinados:** El flujo es libre como en los canales; la línea de energía es siempre descendente en el sentido del flujo; el nivel freático sigue más o menos las mismas variaciones de la superficie. (Wendor, 1980). El espesor alcanza valores que varían desde unos cuantos metros hasta cientos de metros. Los acuíferos no confinados son como verdaderos lagos subterráneos en material poroso; como no hay restricción en la parte superior el nivel freático es libre de subir y bajar. Muchas veces estos acuíferos alimentan corrientes superficiales y lagos.

**Acuíferos confinados:** Son acuíferos comprendidos entre dos estratos impermeables el flujo es a presión, como en las tuberías; en vez de un nivel freático se tiene ahora un nivel piezométrico. La línea de energía, como en el caso de los acuíferos no confinados, se confunde prácticamente con el nivel piezométrico debido a que la altura de velocidad del agua es muy pequeña. (Wendor, 1980). Los acuíferos confinados presentan las ventajas de conducir el agua a grandes distancias y entregar el agua por encima del nivel del acuífero, y las desventajas de tener áreas de recarga relativamente pequeñas, rendir menos agua y provocar

asentamientos del terreno en los lugares de extracción pozos de bombeo.

#### **2.2.4.3 Alimentación y descarga.**

**Alimentación,** El agua de las cordilleras de los andes se alimenta de las lluvias y nevadas, ya sea directamente o indirectamente. El agua de lluvia sufre primero intercepción debido a la vegetación y almacenamiento en las depresiones del terreno y en la zona vadosa. Del resto, una parte sufre escorrentía y otra llega eventualmente a la zona de agua subterránea, quiere decir que sólo las lluvias prolongadas de fuerte magnitud alimentan el agua del subsuelo. (Wendor, 1980). La alimentación o recarga natural del agua del subsuelo es un proceso irregular e intermitente, en que intervienen la geología y el perfil del terreno.

**Descarga,** El agua del subsuelo en exceso de la capacidad del acuífero se descarga de dos maneras: por evapotranspiración, cuando el cordón capilar llega a los sistemas radiculares de la vegetación y por salida superficial, si el nivel freático intersecta la superficie del terreno. (Wendor, 1980).

#### **2.2.4.4 Flujo del agua subterránea**

**Porosidad y rendimiento específico.** Son dos propiedades importantes de los acuíferos.

**Porosidad:** Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de la muestra, mide la capacidad de una formación

para contener agua la cual se expresa en porcentaje. (Blanco, 2005).

**Rendimiento específico:** Es el volumen de agua, expresado como un porcentaje del volumen total del acuífero, que drenará libremente o por gravedad del acuífero. Es siempre menor que la porosidad porque una parte del agua es retenida por fuerzas capilares y moleculares. (Wendor, 1980).

## 2.2.5 Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo el de proporcionar una evaluación geomecánica del macizo rocoso que se estudia a partir de ensayos simples, y observaciones de campo.

### 2.2.5.1 Designación de la calidad de rocas (RQD)

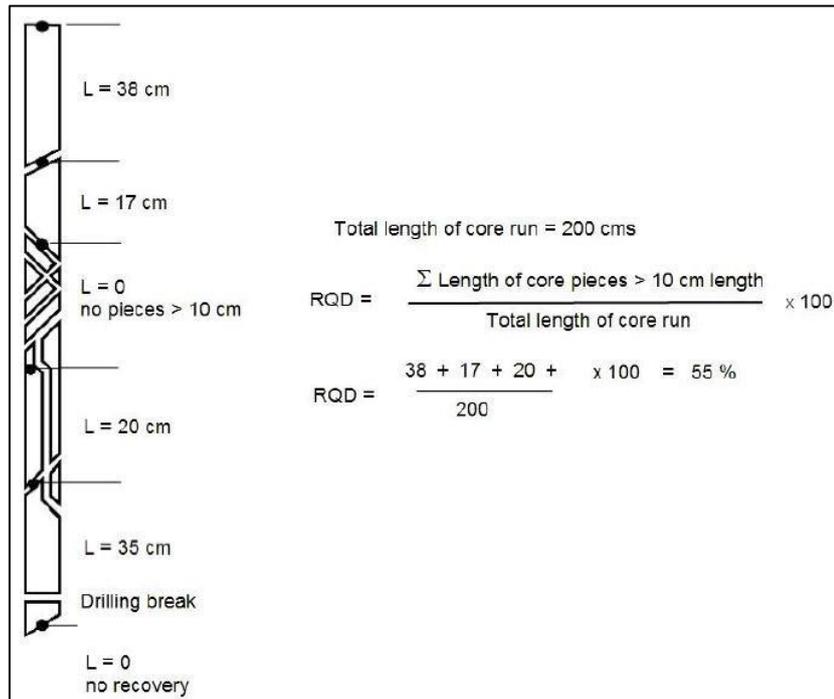
La Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la cualidad del macizo rocoso, ver Cuadro 8, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

CUADRO 8  
*Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca*

<b>RQD %</b>	<b>CALIDAD DE LA ROCA</b>
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm, y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo, observar



**Figura 11. RQD**

Fuente: Deere, D.U. and Deere, D.W. 1988. The rock quality designation (RQD) index in practice. In Rock classification systems for engineering purposes, (ed. L. Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101. Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.

Si no se disponen de sondeos, una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones:

$$RQD = 115 - 3.3 J_V \rightarrow J_V > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow J_V \leq 4.5$$

Donde  $J_V$  es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por  $m^3$ .

Así mismo hay otra forma de hallar el RQD, es tomar una línea con cinta métrica en el entorno de la estación geomecánica o entre varias de ellas alineadas (tomaremos en general tantas zonas como diferenciadas estimemos, aunque habitualmente será suficiente con un par de ellas si el macizo es muy semejante en toda la longitud investigada).

Medimos todas las juntas que interceptan nuestra línea “grosso modo”, siendo este el parámetro “ $\lambda$ ”. Para la determinación del RQD del macizo. Aplicaremos la formulación de Priest y Hudson que requiere de  $\lambda$ . (juntas por metro lineal)

$$RQD = 100 e^{-0.1\lambda(0.1\lambda+1)}$$

Donde  $\lambda$  es el número de juntas por metro lineal.

### 2.2.5.2 Valoración del macizo rocoso (RMR)

La valoración del macizo rocoso (Rock Mass Rating), introducido por Bieniawski (1976), es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes.

$$c = 5 \text{ RMR (KPa)}$$

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} \text{ (deg)}$$

Donde  $c$  es la cohesión y  $\Phi$  es el ángulo de fricción.

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso

(1) Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple

**(2) RQD**

**(3) Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.**

**(4) Condición de las discontinuidades, que incluye:**

I. longitud de la discontinuidad

II. Abertura

III. Rugosidad

IV. Relleno

V. Alteración

**(5) Presencia de agua subterránea.**

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el

RMR se obtiene como la suma de todos ellos,  $RMR = (1) + (2) +$

$(3) + (4) + (5)$

Una vez obtenido el RMR para el macizo, se pueden

obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción.

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR<sub>76</sub>, del año 1976, y el RMR<sub>89</sub>, del

año 1989. Cuadro 9. La diferencia reside en los valores que se le asignan a los parámetros de presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades. Se muestra la diferencia entre valores que se le dan a los parámetros según el criterio, observe Cuadro 9.

**CUADRO-9**  
**Diferencia de valores entre RMR<sub>76</sub> Y RMR<sub>89</sub>**

PARÁMETRO	RMR <sub>76</sub>	RMR <sub>89</sub>
RQD y Espaciado de las discontinuidades	8 – 50	8 – 40
Condición de las discontinuidades	0 – 25	0 – 30
Presencia de agua subterránea	0 – 10	0 – 15

Fuente: Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.

**CUADRO 10**

**Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub>**

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MP	1-5 MP	< 1 MP
	Valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD	90-	75-90%	50-75%	25-50%	25%			
	Valor	20%	17	13	8	3			
3	Espaciado de las discontinuidades	> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	6-20 cm	< 6 cm			
	Valor	20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1-1.0	1-5 mm	> 5 mm			
	Valor	6	5	3	1	0			
	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente	Ondulada	Suave			
	Valor	6	5	3	1	0			
Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm				

		Valor	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Valor	6	5	3	1	0
5	Flujo de agua	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5
		Condiciones generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo
		Valor	15	10	7	4	0

### 2.2.5.3 Índice (Q)

Desarrollado por el NGI (Instituto Geotécnico Noruego), basado en un gran número de casos históricos en Escandinavia. (Barton, et al 1974). Propuso un Índice de Calidad de Túneles (Q) para la determinación de las características del macizo rocoso y los requerimientos de soporte del túnel. El valor numérico del índice Q varía en una escala logarítmica de 0,001 a un máximo de 1000.

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

Dónde:

RQD : Designación de la calidad de la roca

J<sub>n</sub> : Número de familias de discontinuidades

J<sub>r</sub> : Numero de rugosidad de las discontinuidades

J<sub>a</sub> : Numero de alteración de las discontinuidades

J<sub>w</sub> : factor de reducción por presencia de agua en las discontinuidades

SRF : factor de reducción por tensiones.

**El primer cociente ( $RQD/J_n$ ):** Representa el tamaño de los bloques presentes.

**El segundo cociente ( $J_r/J_a$ ):** Representa la rugosidad y características de resistencia al corte de las discontinuidades (paredes o relleno).

**El tercer cociente ( $J_w/SRF$ ):** Representa las tensiones activas. Presencia de agua y estado tensional para distintos tipos de macizos rocosos.

Cabe recalcar que el índice Q, no incluye la orientación de las discontinuidades.

El valor de ESR se relaciona con el uso previsto de la excavación y para el grado de seguridad que se exige del sistema de soporte instalado para mantener la estabilidad de la excavación. Barton et al (1974) sugiere lo siguiente en el Cuadro 11.

**CUADRO 11**  
***Valor ESR con la categoría de la excavación***

Excavation category	ESR
A Temporary mine openings.	3-5
B Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6
C Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3
D Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portal intersections.	1.0
E Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories.	0.8

Fuente: Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

### 2.2.5.4 Índice de resistencia geológico (GSI)

Con la aparición del criterio de rotura de Hoek & Brown el uso del RMR ya no es adecuado, sobre todo para el caso de rocas débiles, y se introduce de esta forma el GSI (Hoek, et al. 1995) El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo, ver Cuadro 12.

CUADRO 12  
*Estimación del GSI basado en observaciones geológicas*

(GSI) MODIFICADO		CONDICIÓN SUPERFICIAL				
De los códigos de letra definidos que describen la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades, seleccione el cuadro apropiado es esta tabla. Estime el valor típico del Índice Geológico de Resistencia GSI, de los contornos que muestra la tabla. No trate de obtener un mayor grado de precisión. Indicar un rango de valores para GSI, por ejemplo de 36 a 42, es más realista que indicar un único valor por ejemplo 38.		MUY BUENA (extremadamente resistente, fresca) superficie de las discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Rc > 250 MPa) (se astilla con golpes de picota)	BUENA (muy resistente, levemente alterada) discontinuidades rugosas, lev. alterada, manchas de oxidación, lig. abierta. (Rc. 100 a 250 MPa) (se rompe con varios golpes de picota)	REGULAR (resistente, levemente alterada) discontinuidades lisas, superficie alterada, ligeramente abierta. (Rc. 50 a 100 MPa) (se rompe con uno o dos golpes de picota)	POBRE (moderadamente resist. moderam. alter.) superficie pulida o con estrías; muy alterada, bloques cúbicos (con fragmentos de roca. (Rc. 25 a 50 MPa), (se indenta superficialmente)	MUY POBRE (blanda, muy alterada) Superficie pulida y estrada, muy abierta, con relleno de arcillas blancas. (Rc < 25 MPa) (se disgrega o indenta superficialmente)
ESTRUCTURA						
	LEVEMENTE FRACTURADA Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí (RQD 75 - 90%) (2 a 6 fracturas por metro) (RQD = 115 - 3.3 Jn)	95 90 85 80	80 75 70 65 60	55 50 45 40	35 30 25 20 15 10	5
	MODERADAMENTE FRACTURADA Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas de discontinuidades ortogonales. (RQD 50 - 75%) (6 a 12 fracturas por metro)					
	MUY FRACTURADA Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. (RQD 25 - 50%) (12 a 20 fracturas por metro)					
	INTENSAMENTE FRACTURADA Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades interceptadas formando bloques angulosos o irregulares. (RQD 0 -25%) (Más de 20 fracturas por metro)					
	TRITURADA O BRECHADA Ligeramente trabada, masa rocosa extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados. (Sin RQD)					

Fuente: Hoek E. 1994. Strength of rock and rock masses. ISRM News Journal, 2(2).

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las

rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.

Una vez realizadas las observaciones se escoge en la tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI, los valores del GSI varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión.

Las relaciones existentes entre GSI y RMR, dependiendo del RMR utilizado, se detallan a continuación:

Para el caso de  $RMR_{76}$

$$RMR_{76} > 18 \rightarrow GSI = RMR$$

$RMR_{76} < 18 \rightarrow$  No se puede utilizar el  $RMR_{76}$  para la obtención del GSI

Para el caso de  $RMR_{89}$

$$RMR_{89} > 23 \rightarrow GSI = RMR_{89} - 5$$

$RMR_{89} < 23 \rightarrow$  No se puede utilizar el  $RMR_{89}$  para la obtención del GSI

Hoek recomienda hacer siempre referencia a un rango numérico y nunca a un solo valor del GSI y también sugiere la posibilidad, a falta de una apreciación directa en campo y solo para macizos rocosos caracterizados por un  $GSI > 25$ , de estimar este a partir del RMR de

Bieniawski, depurándolo del factor orientación de las discontinuidades y asignando 10 al factor agua. Russo (1998), propone estimar el GSI también a partir del índice Q de Barton, depurándolo del factor de tensión (*SRF*) y asignando 1 al parámetro agua (*Jw*), obteniendo luego, de acuerdo con la preexistente correlación entre Q y RMR:

$$GSI = 9 \lg Q' + 44.$$

### **2.2.6 Diseño de sostenimiento**

La importancia de la interacción en el diseño de sostenimiento dependerá de los parámetros geomecánicos y operativos, siendo el pilar clave para una adecuada recomendación de sostenimiento. Esto con el objetivo de brindar un adecuado control de inestabilidad, la iteración conjunta, también es vital para seleccionar en forma óptima la alternativa de sostenimiento, salvaguardando los intereses de seguridad, productividad y de costos en el proyecto subterráneo. (Flores, 2013).

### **2.2.6.1 Parámetro geomecánico**

La evaluación geomecánica de las labores, corresponde a un principio fundamental en la elección correcta de la técnica de sostenimiento. (Flores, 2013). La importancia del estudio del parámetro geomecánico, deberá considerar los siguientes parámetros básicos de estudio:

- \* Calidad geomecánica de la zona inestable.
- \* Análisis de la estabilidad estructuralmente controlada.
- \* Niveles de esfuerzos presentes en la zona de trabajo.
- \* Parámetros mecánicos del macizo rocoso
- \* Análisis de factores de seguridad, simulaciones

### **2.2.6.2 Parámetro operativo**

Flores (2013). Durante la evaluación de la labor minera, son analizados, por lo general, solo los factores geomecánicos para la selección de la alternativa de sostenimiento, sin considerar muchas veces los factores operativos. Es importante que los supervisores responsables de las recomendaciones de sostenimiento conozcan, no sólo las características geomecánicas de la labor, sino que deben asociar la operatividad minera. Dentro de los parámetros operativos de estudio, se tienen:

- \* Tiempo de exposición.
- \* Capacidad de carga.
- \* Control de calidad de elementos de soporte

- \* Análisis de factor de seguridad
- \* Dimensionamiento.
- \* Evaluación costo beneficio.

Los parámetros operativos básicos expuestos, no tienen un carácter absoluto, pudiendo adicionar más factores conforme a las características del proyecto subterráneo. De la misma forma este punto es aplicable para los factores geomecánicos.

### 2.2.6.3 Elementos de sostenimiento

Flores (2013). Conforme a la funcionalidad de soporte para el control de las inestabilidades del macizo rocoso, los elementos de sostenimiento son clasificados en dos categorías de soporte, ver Figura 12.

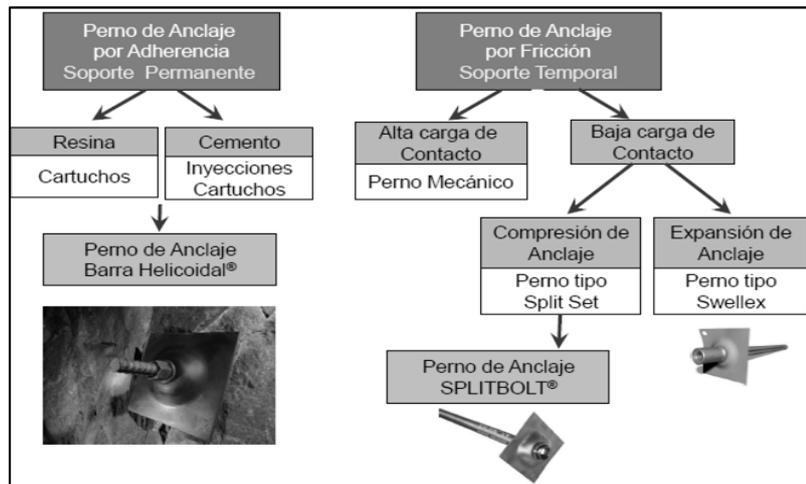


Figura 12. Clasificación de pernos de sostenimiento por refuerzo  
Fuente: Flores, M. (2013). Diseño del soporte y reforzamiento del macizo rocoso. Rock Info consultoría en geomecánica minera.

- \* Sostenimiento por Refuerzo
- \* Sostenimiento por Soporte

Dicha clasificación se basa en la aplicabilidad de los elementos de sostenimiento con relación a su disposición en el macizo

rocoso. Conforme a ello los elementos podrán ser aplicados como soporte interno, sostenimiento por refuerzo y como soporte externo (sostenimiento por soporte). La aplicabilidad de cada alternativa de soporte, obedecerá a la Complejidad de la inestabilidad del macizo rocoso a sostener, características geomecánicas y a la disponibilidad operativa.

#### **2.2.6.3.1 Sostenimiento por refuerzo.**

Como lo indicáremos, la aplicabilidad de esta categoría de sostenimiento, corresponde a elementos de soporte dispuestos dentro del macizo rocoso. (Hos, 2013). Siendo sus exponentes los pernos de anclaje (bolt) y los cables de acero (cable bolting). Dentro de este esquema conforme al mecanismo de anclaje dentro del macizo rocoso; los pernos son clasificados en dos tipos de anclajes:

**Los Anclajes por Adherencia.** Son elementos que necesitan de una matriz para fijarse en el macizo rocoso. Dicha matriz es constituida por encapsulantes, los cuales tendrán que fusionarse con la barra de acero, alma del anclaje, a fin de constituir el anclaje. Ejemplo la Barra Helicoidal.

**Los Anclajes por Fricción.** No necesitan de una matriz cementante para fijarse en el taladro, generando

presiones radiales a lo largo del anclaje instalado.

Ejemplo los Split Set y Swellex.

#### **2.2.6.3.2 Sostenimiento por soporte.**

Flores (2013). Esta categoría de sostenimiento, corresponde a elementos de soporte dispuestos por fuera del macizo rocoso; teniendo como exponentes de este tipo de soporte:

- \* Concreto lanzado (Shotcrete)
- \* Arcos de acero (Cerchas y cimbras)
- \* Los cuadros de sostenimiento (Madera)
- \* Los wood pack (Pilares de madera)
- \* Las mallas de aceros (Electro soldadas, de torsión y gallinero)
- \* Los straps (Cintas metálicas)

Se debe tener en consideración que muchos de los elementos de sostenimiento por Soporte se ven conjugados con los elementos de sostenimiento por Refuerzo, constituyéndose en un sistema de sostenimiento.

### **2.3 Marco conceptual**

#### **2.3.1 Macizo rocoso**

Conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Presenta carácter heterogéneo, comportamiento discontinuo y normalmente anisótropo, consecuencia de la naturaleza, frecuencia y orientación de los planos de

discontinuidad, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico. (Apshana, Y. et al. 2011).

### **2.3.2 Caracterización**

Es la descripción cuantitativa y cualitativa del macizo rocoso, para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. (Chura, W. Aporte personal)

### **2.3.3 Discontinuidades**

Cualquier rompimiento o pérdida de continuidad de una roca. Genera comportamiento no continuo de la matriz rocosa, y normalmente anisótropo, se clasifican en fallas, diaclasas y fracturas. (Apshana, Y. et al. 2011).

### **2.3.4 Sostenimiento**

El término “sostenimiento” es usado para cubrir los diversos aspectos relacionados con el macizo rocoso en esencial es para minimizar las inestabilidades de la roca alrededor de las aberturas mineras con diferentes elementos utilizados. (SNMPE-2004).

### **2.3.5 Clasificaciones geomecánicas**

Son sistemas de clasificación que proporciona una evaluación y estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de observaciones en el campo y ensayos sencillos, como son R.M.R. (Bieniawski), Q (Barton) y G.S.I. (Hoek & Brown). (Norly, B. et al. 2012).

### **2.3.6 Dominios geotécnicos**

Los dominios geotécnicos están relacionados a los mecanismos de falla y/o rotura en una caracterización geomecánica a observarse y

analizarse, los cuales pueden inducir a ser planar, circular, cuña y volcamiento. (Tejada, 2012).

## **2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El estudio geomecánico nos permitirá identificar zonas y dominios geotécnicos del macizo rocoso y lo que nos permitirá un diseño de sostenimiento para las labores de desarrollo.

### **2.4.2 Hipótesis específicos**

Los parámetros geomecánicos a considerar dentro del estudio serán las propiedades de las discontinuidades y las propiedades del macizo rocoso el cual dará a conocer las zonas y dominios geotécnicos.

El diseño de sostenimiento para las labores dependerá del dominio geotécnico influyente en la inestabilidad del macizo rocoso.

## **2.5 IDENTIFICACION DE LAS VARIABLES**

### **2.5.1 VARIABLES INDEPENDIENTES**

Estudio Geomecánico del macizo rocoso en la U.E.A  
Huachocolpa Uno – Compañía Minera Caudalosa S.A.

### **2.5.2 VARIABLES DEPENDIENTES**

Diseño de sostenimiento en labores de la U.E.A Huachocolpa Uno  
– Compañía Minera Caudalosa S.A.

## **CAPÍTULO III**

### **UNIDAD ECONÓMICA ADMINISTRATIVA HUACHOCOLPA**

#### **UNO COMPAÑÍA MINERA CAUDALOSA S.A.**

##### **3.1 GENERALIDADES**

Compañía Minera Caudalosa S.A.; es una empresa dedicada a la exploración, explotación y tratamiento de minerales polimetálicos con contenidos de plomo, zinc, cobre y plata.

Las reservas probadas y probables en la Veta Bienaventurada hacen que Compañía Minera Caudalosa S.A continúe con los trabajos de exploración y explotación de reservas minerales, los que serán transportados para su tratamiento a la Planta de Beneficio de la U.E.A. Huachocolpa Uno, de propiedad de la referida empresa, la que operará a una capacidad instalada de 800 TMSD.

La explotación polimetálica se realizará de acuerdo al plan de minado, el método de explotación es por Corte y Relleno Ascendente Mecanizado con Rampas basculantes. El Relleno será una combinación del desmante de los avances y preparación junto con el relleno mecánico (relleno clasificado) proveniente de la Planta de Beneficio.

Para esta etapa de explotación de ha realizado el Plan de Minado sustentado en las reservas cubicadas de 1'879,115 toneladas, con leyes de %Cu 0.41, %Pb 3.95, %Zn 4.03 y Oz Ag 2.65. El Plan de Minado se ha programado para una producción diaria de 1200 TMD. El avance total 2018 programado es de 12000 m, de los cuales 2330 m son exploración, 6031 m de desarrollo, 2628 m de preparación y 1011 m de inversión.

### **3.2 UBICACIÓN.**

La Unidad de Producción Huachocolpa Uno de la Cía. Minera Caudalosa S.A geográficamente se ubica en el flanco este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales, en el Distrito minero de Huachocolpa, Provincia y Región de Huancavelica a una altitud de 4480 msnm.

Sus coordenadas geográficas son:

Longitud Oeste: 74° 53' 43" Latitud Sur: 13° 03' 52"

Sus coordenadas U.T.M.:

E: 502,230.550

N: 8, 555,752.860



Plano 1: Ubicación y Accesos a la mina

### 3.3 ACCESIBILIDAD.

El acceso a la U.E.A Huachocolpa Uno se da por las siguientes rutas:

Rut	Distancia (Km)	Tiempo	Tipo de Vía
Lima-Pisco-Huaytara – Rumichaca - Paso de Chonta - Mina	445	09 horas	Asfaltada y afirmada
Lima-Pisco- Castrovirreyna -Paso de Chonta -	462	10 horas	Asfaltada y Afirmada
Lima –Huancayo –Huancavelica - Paso de Chonta-Mina	565	12 horas	Asfaltada y Afirmada

Cuadro 13 Ruta y Vías de Acceso a la Mina

### 3.4 CLIMA Y VEGETACIÓN.

Según la división climática de W. Koppen (1984), el área de estudio presenta un clima frío, cuyas temperaturas mínimas se producen entre los meses de “Mayo – Agosto” oscilando entre los “10°C a -15°C”. Los mayores registros de precipitaciones pluviales en la zona ocurren entre los meses de “Noviembre – Abril”.

La vegetación en el área circundante a la mina y zonas adyacentes es escasa; típicamente se constituye por “Stepha Obtusa”, la presencia de esta vegetación en las zonas de mayor densidad (partes bajas adyacentes a la bocamina del nivel 01) reduce los efectos erosivos de las aguas de precipitación.

### 3.5 GEOLOGÍA

#### 3.5.1 Geología Del Yacimiento

##### 3.5.1 Geología Regional

La zona de estudio se ubica en el cuadrángulo de Huachocolpa, que abarca parte de los departamentos de Huancavelica y Ayacucho, y se emplaza en la parte oriental de la Cordillera

Occidental, en altitudes que varían desde los 4000 hasta los 5200 msnm.

En los alrededores del proyecto se constituye una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que abarcan edades desde el Paleozoico hasta el Cuaternario.

El área de estudio se emplaza en rocas volcánicas del Neógeno, correspondientes a la “Formación Domos de Lava” (Noble, 1973), son primordialmente andesitas de color gris-marrón-amarillento, debido principalmente a la débil alteración argilítica supérgena, su rumbo promedio es N 52° - 65° E y buzamiento 55°. 75° SE su potencia de esta veta es variable: 1-4 m. El relleno mineral es de origen hidrotermal epitermal, emplazado por procesos de relleno de fisura con brecha.

Como principales minerales constituyentes se tienen: esfalerita, galena, cuarzo y pirita; en menor proporción tetraedrita, calcopirita, estibina, baritina, yeso y rejalgar.

Estos minerales se presentan con una textura brechoide a orbicular, siendo el cuarzo el relleno principal a manera de matriz, englobando fragmentos de galena-esfalerita (Valdivia, 1994).

### **3.5.2 Geología Local**

En el Sector de Bienaventurada son predominantes las andesitas de color gris-marrón amarillentas con alteración argílica supérgena débil a moderada. Se puede distinguir dos posibles

unidades litológicas, una al noroeste de la veta Bienaventurada, donde los volcánicos andesíticos se presentan con bandeamientos de flujo, de rumbo promedio N 65° W y buzamiento 66°- 70° NE y hacia el área de la Veta Sur con rumbo N 50°-60° E y 50°NW de buzamiento. Las andesitas presentan alteración supérgena con una coloración pardo-amarillenta.

En interior mina las andesitas son porfiríticas de color gris y gris blanquecinas cuando están fuertemente alteradas. Una segunda unidad litológica corresponde a derrames sub - horizontales de andesitas marrón amarillentas, las mismas que se emplazan al este y noreste de la veta Bienaventurada; al este, las lavas andesíticas están argilizadas supergénicamente y tienen 1.00 m. a 15.00 m. de potencia, con rumbos de N 60° E y buzamientos 15° - 25° SE. Las andesitas en algunos casos son porfiríticas con horizontes de aglomerados volcánicos de la misma composición, también hay horizontes de derrames lávicos intercalados con aglomerados en las partes altas. Algunas capas presentan débil diseminación de pirita fina y otras en su matriz tienen fenos de cuarzo. Hacia el NE en la posible continuidad de la veta Bienaventurada, existen intercalaciones de bancos potentes de lavas andesíticas con aglomerados volcánicos grises y en las partes altas al NE, derrames lávicos andesíticos grises de rumbo N 70° E y 10° SE de buzamiento.

### **3.5.3 Geología Estructural**

Las secuencias volcánicas que se emplazan en la Unidad de Producción Huachocolpa-Uno, corresponden a una parte de una estructura dómica dentro de la formación << Domos de Lava >>. Estas capas en el área de la mina se encuentran suavemente plegadas con rumbo N 30° - 40° W y 10° SW - 15° NE de buzamiento, cortadas por fallas transversales en su mayoría mineralizados. Como consecuencia de los esfuerzos de compresión a nivel regional se han originado una serie de fracturas de cizalla y tensión de rumbo N 60° E a N 60° W que es característica tectónica general del distrito y sirvieron para el emplazamiento de los fluidos mineralizantes.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

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

#### **4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

**Exploratorio:** se tomarán datos Geomecánicos de campo de las estructuras, obteniéndose información para diseñar el tipo de sostenimiento a emplear para minado subterráneo en U.E.A Huachocolpa Uno.

**Descriptiva:** Descripción detallada Geomecánica de los macizos rocosos y de las estructuras mineralizadas.

**Explicativa:** Definiremos las causas y efectos que implican la caracterización Geomecánica.

### **4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

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

### **4.4 METODOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se realizará un enfoque Cuantitativo, describiendo y explicando la caracterización geológica y geomecánica de las zonas de estudio, mediante la toma de datos y análisis interpretativos.

El desarrollo del presente tema de investigación se realizará en tres etapas; Recopilación de información, trabajo de campo y trabajo analítico.

### **4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

- ✓ Recopilar información existente (topográfica y geológica en las áreas de interés).
- ✓ Realizar el mapeo *geomecánico* en labores subterráneas, usando el método “Celdas de detalle” en “Estaciones geomecánicas”.
- ✓ Seleccionar muestras de roca para los “Ensayos de laboratorio”.
- ✓ “Caracterización geomecánica” de la masa rocosa en los distintos “Dominios Geomecánicos”.
- ✓ Determinación de los parámetros de la masa rocosa en los distintos “Dominios Geomecánicos” que conforman el “Modelo geomecánico de la mina”.
- ✓ Evaluación de los “mecanismos de falla potencial”.
- ✓ Análisis de estabilidad en las excavaciones.
- ✓ Dimensionamiento geomecánico de los tajos.

- ✓ Selección y diseño de sostenimiento.
- ✓ Establecimiento de la instrumentación geomecánica básica para el monitoreo y control geomecánico.

#### **4.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

Se realizará el procesamiento de datos Geomecánicos correlacionándolos con las secciones geológicas sistemáticas.

Se diseñarán planos y gráficos en el Programa de diseño Autocad.

## **CAPÍTULO V**

### **INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA**

#### **5.1 INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA DE CAMPO.**

El programa de “investigaciones geomecánicas” en campo consideradas como parte esencial para propósitos de este trabajo, se orientó a la evaluación de la masa rocosa a través del “Mapeo geomecánico de excavaciones subterráneas y afloramientos rocosos en superficie” adyacentes a la zona de interés (veta mineralizada y su entorno físico).

#### **5.2 MAPEO GEOMECÁNICO DE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS.**

Esta evaluación ha sido realizada íntegramente dentro y en áreas circundantes a la “U.E.A Huachocolpa Uno” con la finalidad de caracterizar la masa rocosa a través de un índice numérico cuantitativo que nos permita discretizar la masa rocosa en “Dominios Geomecánicos”. El mapeo geomecánico ha sido realizado usando el método “Celdas de Detalle”, Para

los propósitos de éste Estudio adecuándolos a las normas sugeridas por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas “I.S.R.M”; los parámetros de la masa rocosa evaluados en este registro fueron: “tipo de roca, tipo de estructura, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, grado de alteración y presencia del agua subterránea”, adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca a la compresión uniaxial usando el “martillo de rebote”, el grado de fracturamiento de la masa rocosa “RQD” estimado mediante la determinación del número de discontinuidades por metro cúbico usando la formulación de Palmstrom ( $RQD=115-3,3*J_v$ ).

### **5.3 INVESTIGACIÓN GEOMECÁNICA DE LABORATORIO.**

Para propósitos de este estudio, se ha realizado sobre muestras seleccionadas en los “Dominios geomecánicos de interés” para el diseño; éstas muestras han sido ensayadas en el “Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú” el cual cumple con estándares internacionales definidos por la “American Society for Testing Materials” (A.S.T.M).

Los ensayos de Mecánica de Rocas, se han desarrollado sobre bloques de “roca intacta y discontinuidades estructurales”. Los tipos de ensayos realizados fueron “Constantes Elásticas (ASTM D-4767), Compresión Uniaxial (ASTM D-4767), Compresión Triaxial (ASTM D-2664-95), Propiedades Físicas (ASTM C-97-02), Corte Directo (D-5607-95).

## **5.4 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA.**

### **5.4.1 Aspectos litológicos.**

En la zona de evaluación de U.E.A Huachocolpa Uno, podemos observar la presencia de emanaciones volcánicas pertenecientes al Grupo Huachocolpa denominándose, Complejo Volcánico Mixto y Domo volcánico

Las rocas consisten principalmente de brechas y lavas andesíticas, dacíticas, riolíticas, porfiríticas y andesíticas porfiríticas. Las brechas mayormente son de composición andesítica, afloran en la parte baja de Caudalosa Chica, hacia el noroeste de Toromachay y en ambos márgenes del río Escalera.

En la Mina Bienaventurada la formación Domo de Lava, predominantemente son andesitas de color gris-marrón amarillentas con alteración argílica supérgena débil a moderada. Se puede distinguir dos posibles unidades litológicas de vulcanismo; una al noroeste de la veta Bienaventurada, donde los volcánicos andesíticos se presentan con bandeamientos de flujo, de rumbo promedio N 65° W y buzamiento 66°- 70° NE y hacia el área de la Veta Sur con rumbo N 50°-60° E y 50°NW de buzamiento. Las andesitas se presentan supergénicamente alteradas con una coloración parda amarillenta.

En interior mina las andesitas son porfiríticas de color gris y gris blanquecinas cuando están fuertemente alteradas. Una segunda unidad litológica corresponde a derrames sub - horizontales de andesitas

marrón amarillentas, las mismas que se reconocen al este y noreste de la veta Bienaventurada.

#### **5.4.2 Distribución de discontinuidades.**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográficas equiareal, utilizando la versión avanzada del programa de computo DIPS (versión 6) elaborado por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá).

El análisis estructural se ha realizado en forma estratégica y pertenecen a los niveles principales que han permitido la accesibilidad y realizar el mapeo correspondiente.

Los niveles son los siguientes:

Nivel 4280

Nivel 4330

Nivel 4380

Nivel 4430

Nivel 4480

Nivel 4518

Nivel4555

Así mismo se realizó el mapeo geomecánico a las vetas principales.

#### **5.4.3. Aspectos estructurales.**

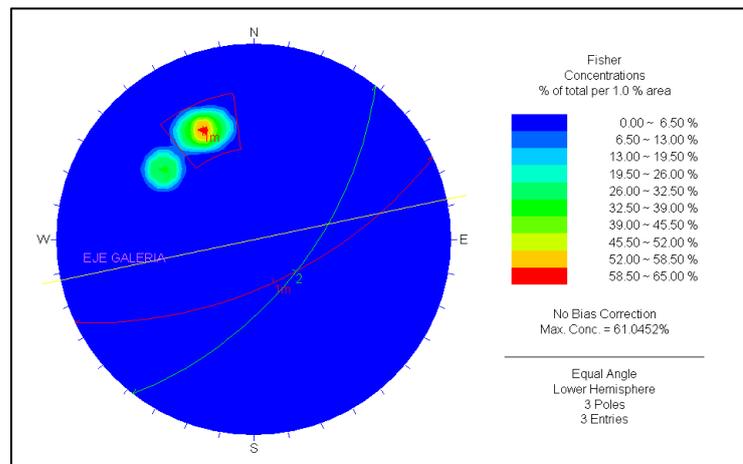
La ocurrencia de patrones estructurales preferentes in-situ ha sido

evaluada por Niveles, para deducir el daño que ellos ocasionan en la construcción del desarrollo y explotación de labores.

Los resultados de las características de distribución de los sistemas de discontinuidades estructurales fueron los siguientes:

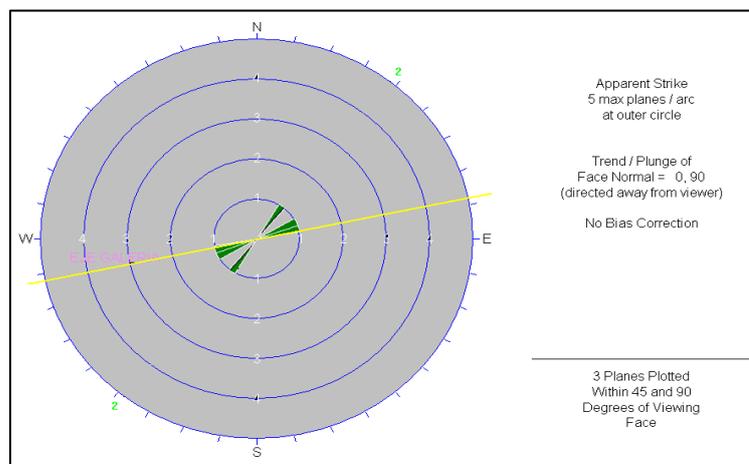
**Nv-4280: Estructural.**

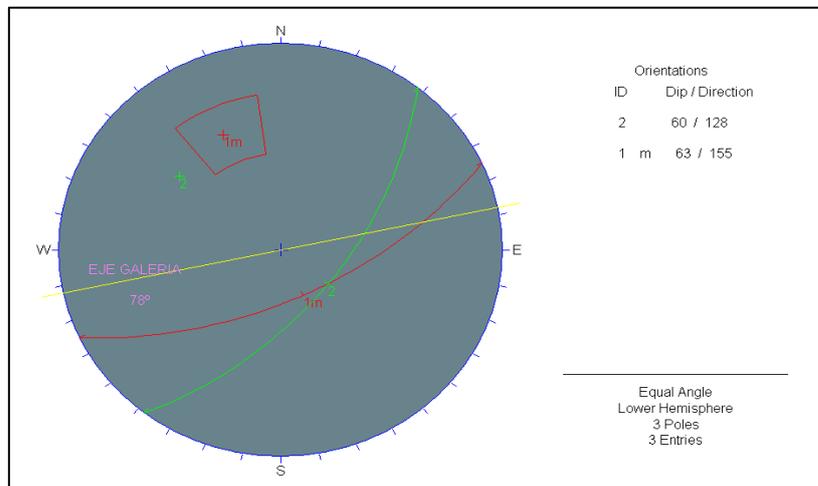
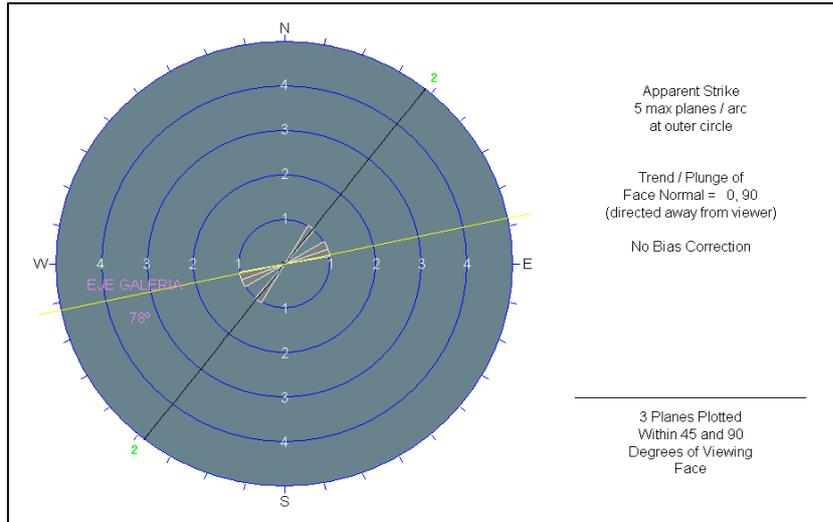
**GALERIA 749-E**



**Figura 13**

En la fig.01, de acuerdo a la dirección de excavación de la Galería 749 E, se observan dos sistemas de discontinuidades subparalelos con buzamiento regular a la excavación.

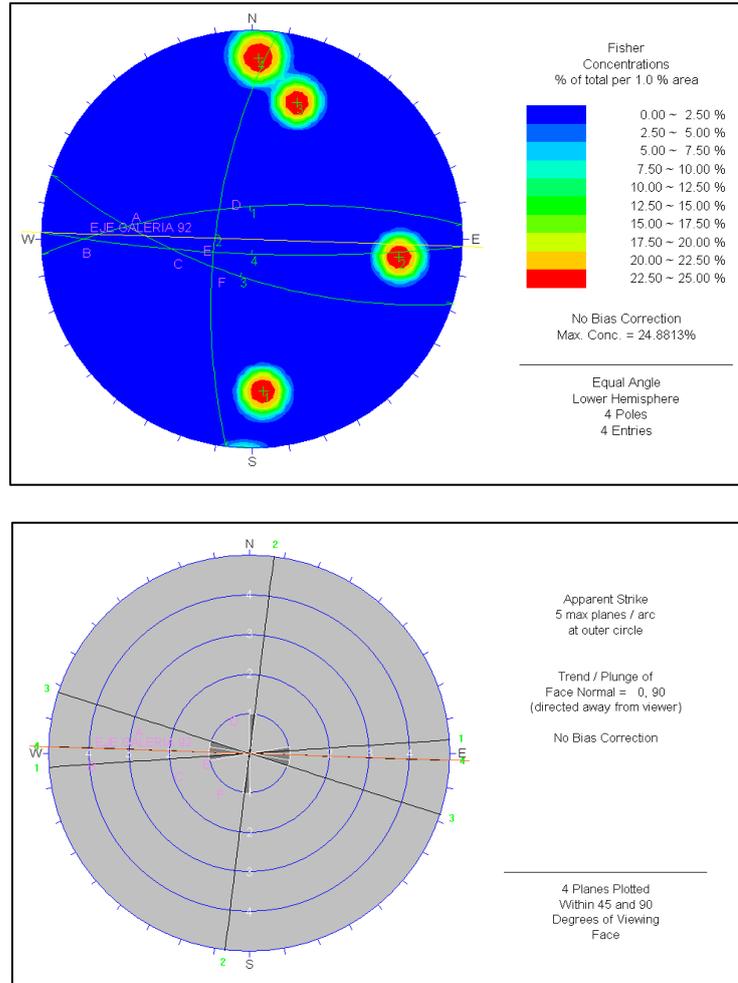




**NV-4330: ESTRUCTURAL.**

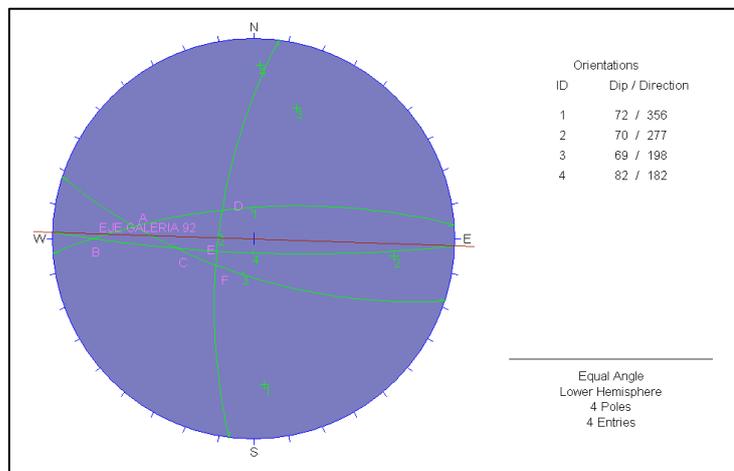
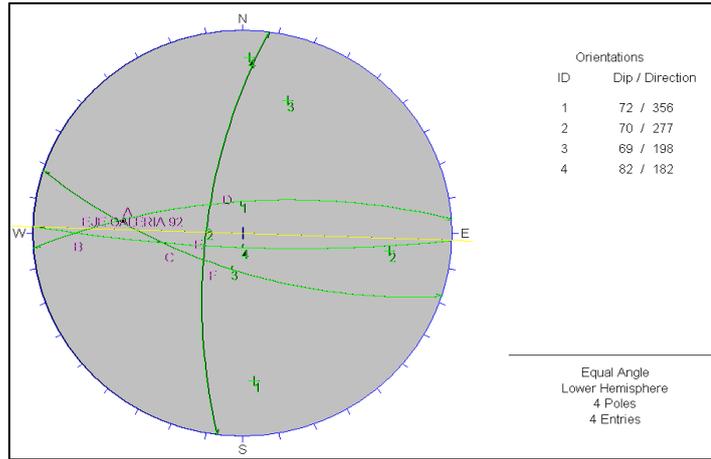
**GALERIA 338-E-W**

En las proyecciones estereográficas de dicha zona, se podrá observar lo siguiente; en Ga-338-E las discontinuidades forman cuñas paralelas o sobre el eje de la galería y en Ga-338-W, las discontinuidades forman cuñas perpendiculares al eje del túnel, algunos sobre el eje como: I-C-H, A-D-H. Y otras alejadas del eje como: E-B-K, 4-I-D, que por deslizamiento por los hastiales puede ocurrir, realizar desate de rocas y/o empernarlos.



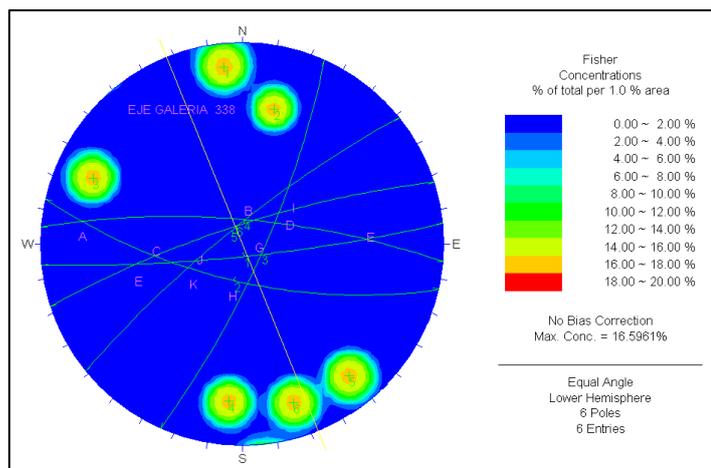
**Figura 14**

En la figura 02, el diagrama de rosas muestra un sistema perpendicular de forma favorable al eje de excavación y dos sistemas sub paralelos de forma desfavorable al avance de excavación.

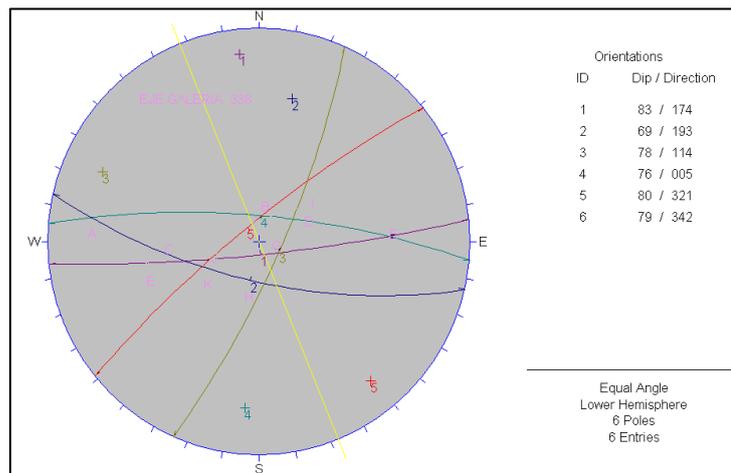
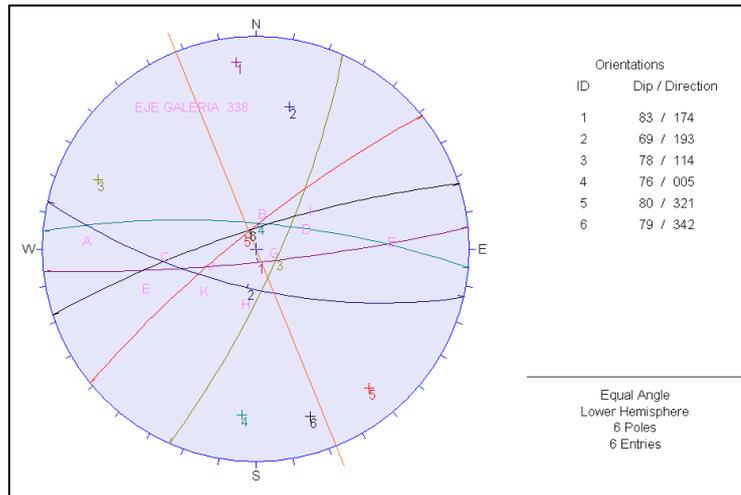
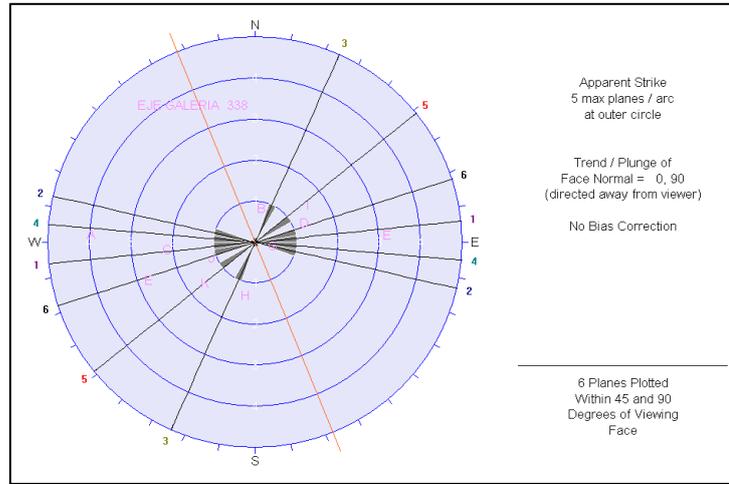


**NV-4330: ESTRUCTURAL.**

**GALERIA-398 W**

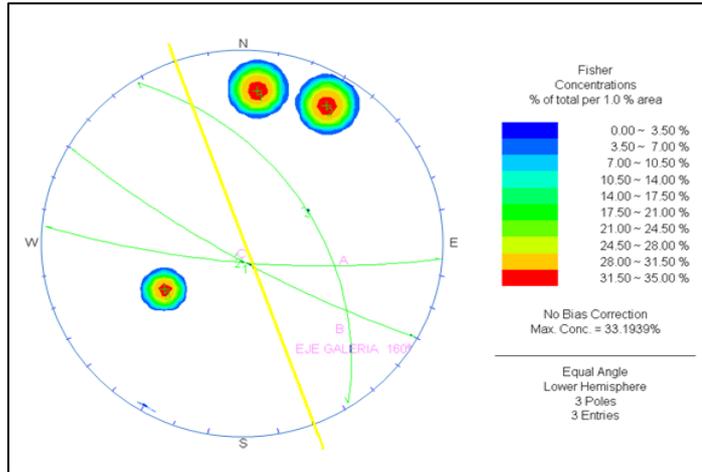


**Figura 15**



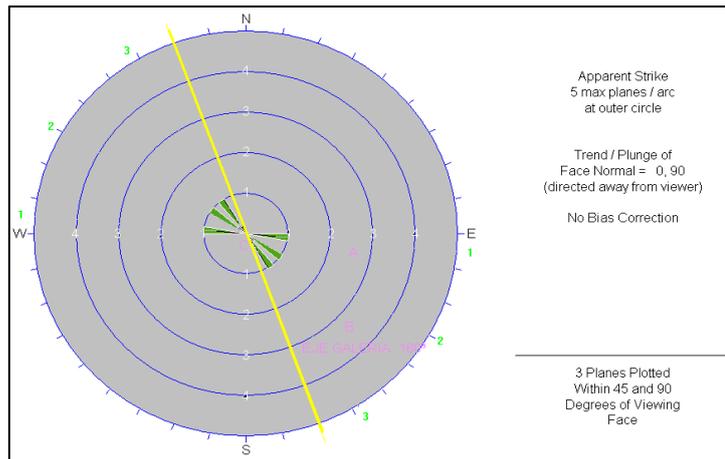
# NV-4330: ESTRUCTURAL

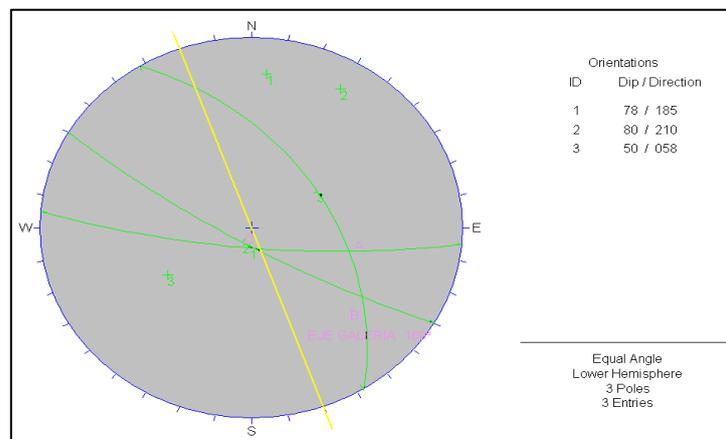
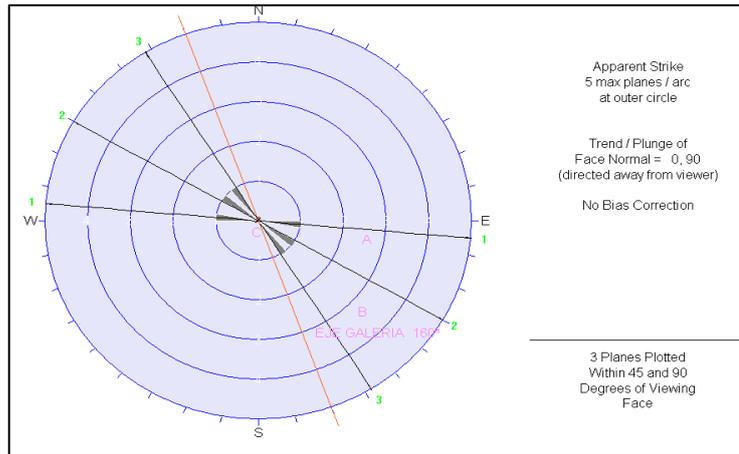
## GALERIA 569-E



**Figura 16**

En la fig. 04 Se observan dos sistemas de discontinuidades que cortan de forma favorable con buzamiento regular a la excavación y un sistema sub-paralelo con buzamiento regular a la excavación.

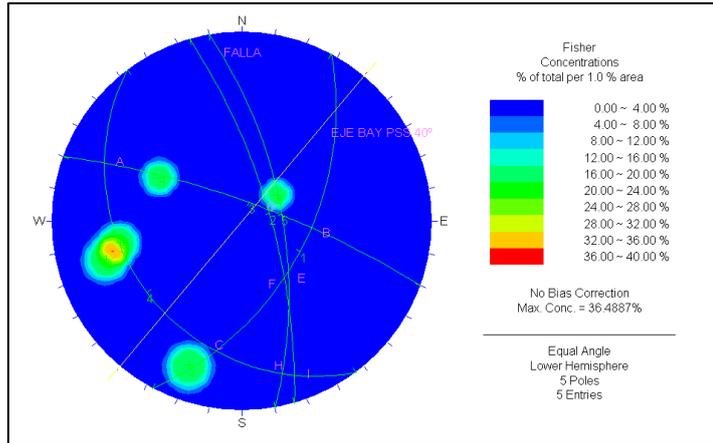




## NV-4380: ESTRUCTURAL

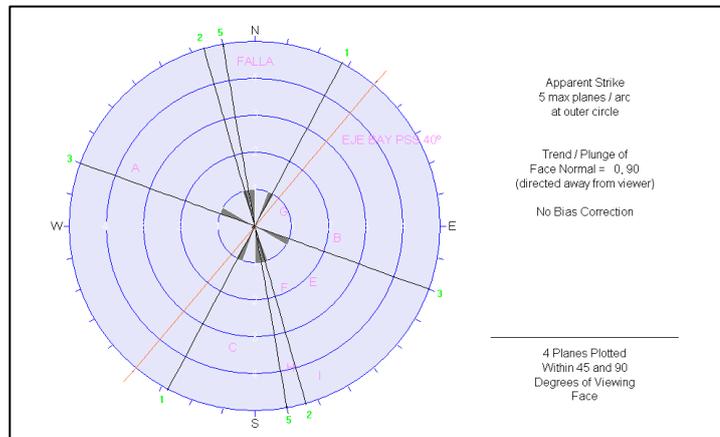
### BY PASS 890-W

En el By Pass, 890-W, se observa que las discontinuidades forman varias cuñas, que pueden caer por gravitación y por deslizamiento, estas son: A-B-C, G-F-B, 5-B-E, 5-H-A, 2-I-A; por deslizamiento tenemos: C-F-I, C-H-E, por lo que se recomienda pernos helicoidales sistemático a 1.0 m. x 1.0 m. + malla de 4" x 4".

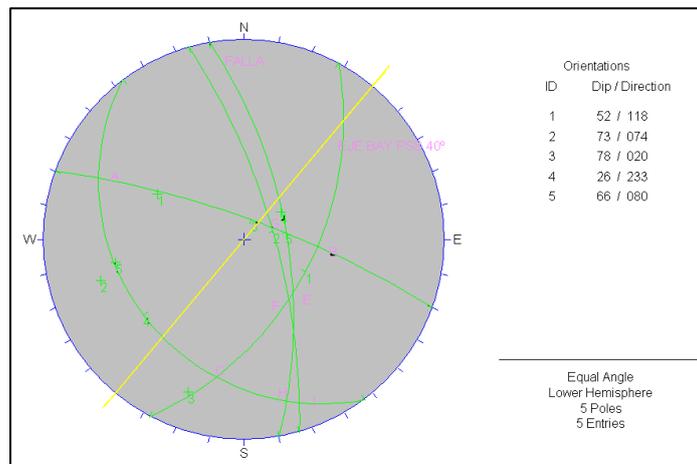
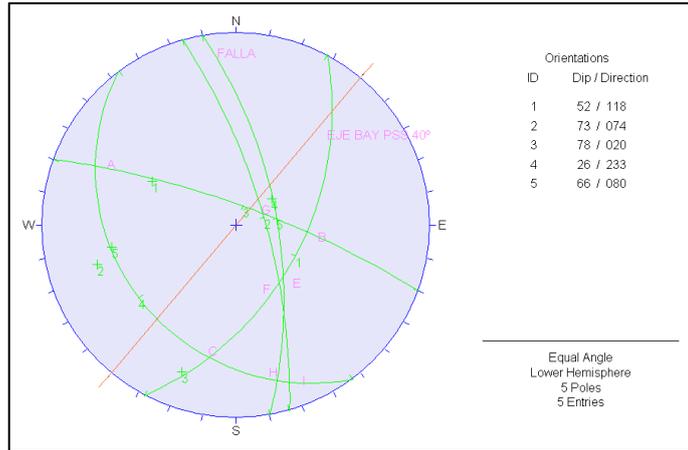


**Figura 17**

En la figura N° 5, se observa las rosetas estructurales, que nos indican que la dirección de la discontinuidad 1 y 5 (En verde) son desfavorables con respecto al eje del By Pass. Mientras que la dirección de la discontinuidad 2 (En verde), es favorable al By Pass.

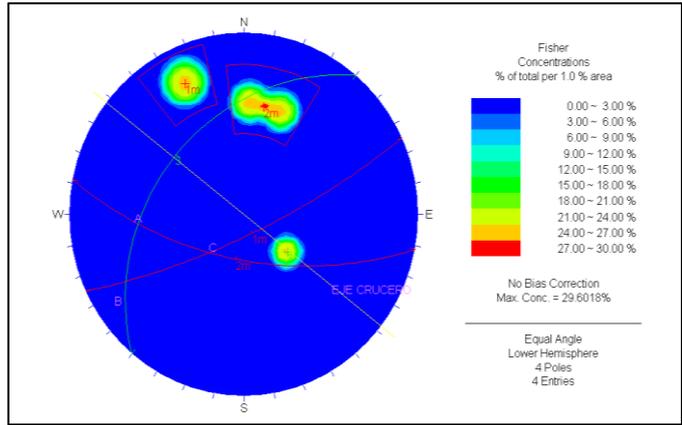


Se observan los planos que forman las discontinuidades y sus respectivos Dips Direction, y Dips.



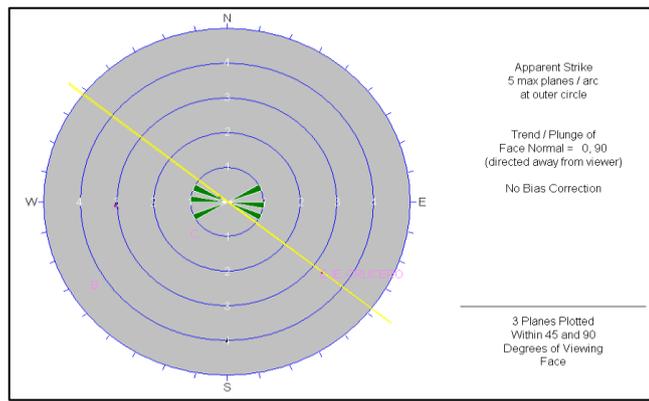
**NV-4518: ESTRUCTURAL.  
CRUCERO 400**

En el Crucero 400, se observa tres planos de discontinuidades que forman una cuña A-B-C, con dirección norte, que se deslizará por la parte izquierda o hastial izquierda del cruceo, por lo que se recomienda medidas de sostenimiento como pernos helicoidales de 7 de pies, puntuales más malla de 4" x 4", de tal manera que abarque la zona de la cuña. Fig. 18.

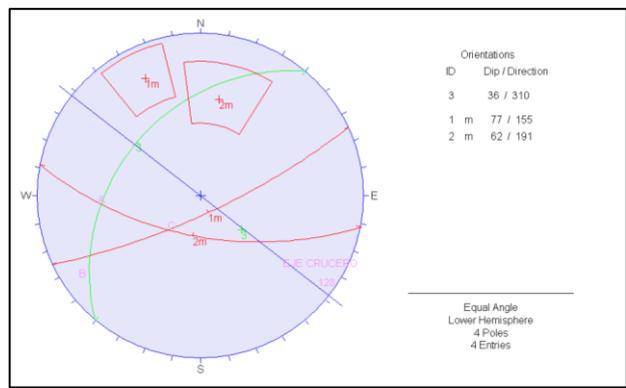


**Figura 18**

Se observa las Rosetas estructurales de las discontinuidades, y ellas tiene una dirección sub-paralela al eje de excavación, la que nos indica que las discontinuidades no son favorables.



Se observan, los planos de discontinuidad, que forman la cuña A-B-C, y sus respectivas dips dirección, y dips.



#### 5.4.4 Influencia de la Rugosidad en la estabilidad de las discontinuidades: (Mina Bienaventurada).

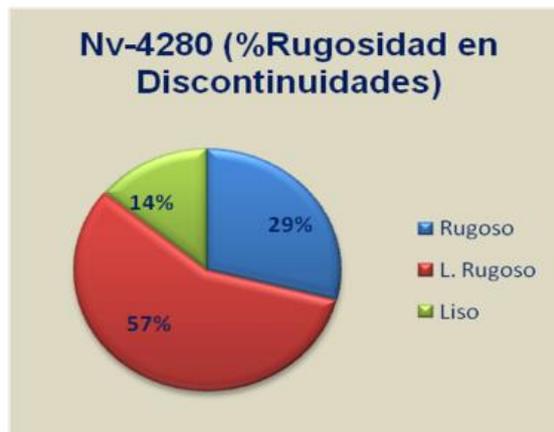
La rugosidad es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad, parámetro que se ha tomado en cuenta en los niveles para evaluar la estabilidad de los bloques, cuñas estructurales.

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación estadística de Rugosidad en las discontinuidades por niveles.

**Cuadro 14**

**Nivel 4280**

<b>14%</b>	<b>57%</b>	<b>29%</b>	<b>100%</b>
Liso	L. Rugoso	Rugoso	<b>TOTAL</b>



En el cuadro 14. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Levemente rugoso” y posteriormente “rugoso”, es un factor positivo en la estabilidad de las cuñas y/o bloques de roca.

### Cuadro 15

#### Nivel 4330

25%	67%	8%	100%
Liso	L. Rugoso	Rugoso	TOTAL



En el cuadro 15. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Levemente rugoso”, factor positivo en la estabilidad de labores en este nivel.

### Cuadro 16

#### Nivel 4380

75%	25%	100%
L. Rugoso	Rugoso	TOTAL



En el cuadro 16. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Levemente rugoso” y posteriormente “rugoso”, parámetro positivo en el avance de las excavaciones.

### CUADRO 17

Nivel 4430

14%	86%	100%
Liso	L. Rugoso	TOTAL



En el cuadro 17. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Levemente rugoso”

### CUADRO 18

Nivel 4480

25%	75%	100%
Liso	L. Rugoso	TOTAL



En el cuadro 18. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Liso”, es un factor negativo en la estabilidad de los bloques y cuñas de la roca.

### CUADRO 19

Nivel 4518

50%	50%	100%
Rugoso	L. Rugoso	TOTAL



En el cuadro 19. El mayor porcentaje correspondiente al rango “Ligeramente rugoso”, mayor estabilidad en el avance de labores.

#### 5.4.5 Alteración en las discontinuidades: (UEA HUACHOCOLPA UNO).

A continuación, se muestra los resultados de la evaluación estadística del parámetro “Alteración” en los Niveles principales.

**Cuadro 20.** Se muestra los resultados de la evaluación estadística de “Fresco”, en el Nivel 4280.

### CUADRO 20

Nivel 4280

2%	12%	39%	48%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL



El mayor porcentaje corresponde al rango “fresco”, que es uno de los factores que permite mayor estabilidad en la excavación

de la roca, incidiendo principalmente en los valores de resistencia de la roca (resistencia moderada). La silicificación y en menor grado la calcificación mejora las características del macizo

El **cuadro 21**, se muestra los resultados de la evaluación estadística de “L.Alterado”, en el Nivel 4330.

**CUADRO 21**

Nivel 4330				
4%	11%	57%	28%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL



El mayor porcentaje corresponde al rango “Ligeramente Alterado”, Discontinuidades levemente abiertas, incidiendo principalmente en los valores de resistencia de la roca (resistencia Moderada). La sericitización y la argilitización predominan.

El **cuadro 22**, muestra los resultados de la evaluación estadística de “L.Aterado”, en el Nivel 4380.

## CUADRO 22

Nivel 4380

15%	7%	47%	31%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL



El mayor porcentaje corresponde al rango “Ligeramente Alterado” y “Fresca” el grado de alteración desestabiliza el macizo rocoso más aun cuando se presenta goteras en algunos sectores teniendo rellenos arcillosos y alteración silicificada mejorando las características del macizo.

**El cuadro 23**, muestra los resultados de la evaluación estadística “Fresco”, en el Nivel 4430.

## CUADRO 23

Nivel 4430

8%	13%	38%	41%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL



El mayor porcentaje corresponde al rango “fresco”, la alteración se ha producido por la ascensión de fluidos o gases magmáticos a altas temperaturas a través de las diferentes fracturas, afectando

así a los rellenos de las zonas de fallas y sus cajas, modificando la condición del macizo rocoso.

El **cuadro 24**, muestra los resultados de la evaluación estadística de “L.Alterado”, en el Nivel 4480.

### CUADRO 24

Nivel 4480				
4%	19%	67%	10%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL

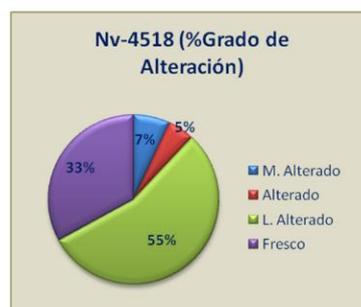


El mayor porcentaje corresponde al rango “ Ligeramente Alterado”, Presencia de minerales arcillosos, presencia de rellenos con panizo, estas características se presentan en las discontinuidades en la mayoría de las cajas.

El **cuadro 25**, muestra los resultados de la evaluación estadística de “L.Alterado”, en el Nivel 4518.

### CUADRO 25

Nivel 4518				
7%	5%	55%	33%	100%
M. Alterado	Alterado	L. Alterado	Fresco	TOTAL



El mayor porcentaje corresponde al rango “Ligeramente Alterado” y “Fresca” en la mayor parte del nivel presenta discontinuidades con rellenos arcillosos y alteración silicificada mejorando las características del macizo.

## **5.5. CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA EN LABORES TEMPORALES**

### **5.5.1 Registro de datos**

Para la caracterización de la masa rocosa en labores temporales se registraron datos a partir del mapeo geomecánicos de campo, en las cuales se utilizó el siguiente método:

- Método de mapeo Geomecánico.

### **5.5.2. Aspectos litológicos**

En la zona de evaluación, Unidad de Producción “Huachocolpa Uno” sub unidades Bienaventurada son depósitos de tipo filoniano, rellenos de fracturas por soluciones hidrotermales; las fracturas han servido de canal y receptáculo para la depositación de menas y gangas.

Las vetas sub paralelas se presentan en forma casi continua por longitudes mayores a 1,000 m. La mineralización económica está en clavos irregulares en longitud, profundidad y potencia, separados entre sí por zonas de adelgazamiento y/o empobrecimiento, en las zonas de intercepción de estructuras por lo general no se observa

buena mineralización; la mayoría de las vetas se presenta en forma de típico Yacimiento en Rosario

### **5.5.3 Distribución de discontinuidades**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades tanto mayores como menores, el procesamiento de datos se realizó mediante mapeos geomecánicos “Clasificación del índice Geológico de Resistencia” (GSI) propuesto por Hoek (1995).

### **5.5.4 Aspectos Estructurales**

La ocurrencia de patrones estructurales preferentes in-situ ha sido evaluada por tajos, para deducir el daño que ellos ocasionan en la construcción y explotación de tajos.

### **5.5.5 Influencia de la Rugosidad en la estabilidad de las discontinuidades: (Mina Bienaventurada).**

La rugosidad es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad, parámetro que se ha tomado en cuenta en los niveles para evaluar la estabilidad de los bloques, cuñas estructurales.

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación estadística de Rugosidad de las discontinuidades en labores temporales.

El **cuadro 26**, muestra los resultados de la evaluación estadística “L.Rogosa” en las discontinuidades de la Veta Bienaventurada.

### CUADRO 26

VETA BIENAVENTURADA			
23%	71%	6%	100%
Liso	L. Rugoso	Rugoso	TOTAL

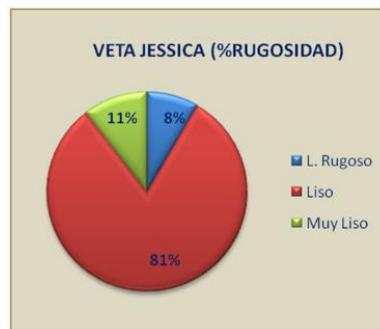


El grado de rugosidad en Bienaventurada es alto siendo la veta principal de la mina, nos muestra un resultado positivo en la estabilidad de las rocas.

El **cuadro 27**, muestra los resultados de la evaluación estadística de muy liso. en las discontinuidades de la Veta Jessica.

### CUADRO 27

VETA JESSICA			
23%	67%	10%	100%
Muy Liso	Liso	L. Rugoso	TOTAL



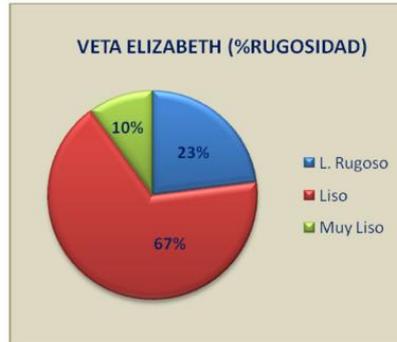
El grado de rugosidad en Jessica es liso, generando una condición de inestabilidad en la roca,

El **cuadro 28**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Elizabeth.

**CUADRO 28**

Veta Elizabeth

23%	67%	10%	100%
Muy Liso	Liso	L. Rugoso	TOTAL



El grado liso en Elizabeth es liso, generando una condición de inestabilidad en la roca, presencia de relleno blando en las discontinuidades.

El **cuadro 29**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Tatiana.

**CUADRO 29**

Veta Tatiana

19%	81%	100%
Muy Liso	Liso	TOTAL



El grado de rugosidad en la veta Tatiana es liso, presencia de goteras, la presencia de minerales arcillosos, presencia de

rellenos con panizo, estas características se presentan en las discontinuidades en la mayoría de las cajas.

La sericitización y la argilitización predominan.

### 5.5.6 Influencia de la Orientación de las discontinuidades:

La orientación es descrita por su rumbo y buzamiento, tomadas a un grupo de discontinuidades que presentan similar orientación, paralelas, que forman diferentes sistemas de familias.

A continuación, se muestran los resultados de la evaluación estadística de la orientación de las discontinuidades por vetas.

El **cuadro 30**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Bienaventurada.

**CUADRO 30**

**Veta Bienaventurada**

6%	24%	70%	100%
Favorable	Regular	Desfavorable	TOTAL

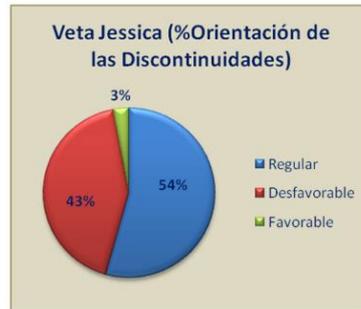


La orientación de las discontinuidades en la veta Bienaventurada es desfavorable, controlando con sostenimiento.

El **cuadro 31**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Jessica.

### CUADRO 31

Veta Jessica			
3%	54%	43%	100%
Favorable	Regular	Desfavorable	TOTAL



La orientación de las discontinuidades en la veta Jessica es de forma regular y desfavorable en el avance del tajeo.

El **cuadro 32**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Elizabeth.

### CUADRO 32

Veta Elizabeth			
7%	66%	27%	100%
Favorable	Regular	Desfavorable	TOTAL



La orientación de las discontinuidades en la veta Elizabeth, es de forma regular, logrando un control en sus tajeos.

El **cuadro 33**, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Tatiana.

### CUADRO 33

#### Veta Tatiana

66%	23%	100%
Muy Desfavorable	Desfavorable	TOTAL



La orientación de las discontinuidades en la veta Tatiana, es de condición desfavorable, generando así la veta más inestable de la mina bienaventurada.

#### 5.6. Clasificación de la masa rocosa en labores permanentes

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocosos – 1989) y la Clasificación del índice Geológico de Resistencia (GSI) propuesto por Hoek (1995).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos mediante datos en campo con el martillo **Schmidt**.

En el siguiente cuadro un resumen por niveles.

**Cuadro 34**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**Nivel 4280**

Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	60 - 63	62	F/R	Buena : 15 %
Tipo III	41 - 56	45	F/P	<b>Regular: 71 %</b>
Tipo IV	21 - 40	30	MF/P-MP	Mala: 10 %
Tipo V	19 - 21	20	IF/MP	Muy Mala: 4%

Según lo indicado en el Cuadro 21 del Nivel 4280, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo III.

De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, el relleno en menor porcentaje en las discontinuidades como es el panizo, altera el macizo rocoso, siendo ligeramente rugosas en alto porcentaje.

**Cuadro 35**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**Nivel 4330**

Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	60 - 63	60	F/R	<b>Buena : 22 %</b>
Tipo III	41 - 56	51	F/P	<b>Regular: 59 %</b>
Tipo IV	21 - 40	38	MF/P-MP	Mala: 17 %
Tipo V	19 - 21	20	IF/MP	Muy Mala: 2%

Según lo indicado en el Cuadro 35 del Nivel 4330, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo II y Roca Tipo III.

De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, El grado de rugosidad estabiliza el macizo rocoso.

**Cuadro 36**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**Nivel 4380**

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Promedio RMR</b>	<b>Promedio GSI</b>	<b>% de la masa rocosa según RMR</b>
Tipo II	60 - 63	61	F/R	<b>Buena : 51 %</b>
Tipo III	41 - 56	52	F/P	<b>Regular: 33 %</b>
Tipo IV	21 - 40	35	MF/P	Mala: 8 %
Tipo V	19 - 21	20	MF/MP	Muy Mala: 8 %

Según lo indicado en el Cuadro 36 en el Nivel 4380, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo II y Roca Tipo III.

De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, el Relleno, es uno de los principales factores de disminución de la calidad del macizo rocoso. La rugosidad es un parámetro que se ha evaluado para la estabilidad de bloques de cuñas estructurales.

**Cuadro 37**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**NIVEL4430**

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Promedio RMR</b>	<b>Promedio GSI</b>	<b>% de la masa rocosa según RMR</b>
Tipo II	60 - 63	60	F/R	<b>Buena : 28 %</b>
Tipo III	41 - 56	41	LF-F/P	<b>Regular: 60 %</b>
Tipo IV	21 - 40	37	F/MP	Mala: 9 %
Tipo V	19 - 21	20	IF/P-MP	Muy Mala: 3%

Según lo indicado en el Cuadro 37 del Nivel 4430, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo III y Roca Tipo III.

De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, El grado de fracturamiento es favorable, encontrando sistemas de

discontinuidades muy espaciadas entre sí, muy bien trabadas y poco disturbadas.

**Cuadro 38**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**NIVEL 4480**

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Promedio RMR</b>	<b>Promedio GSI</b>	<b>% de la masa rocosa según RMR</b>
Tipo II	60 - 63	62	F/B-R	Buena : 2 %
Tipo III	41 - 56	43	F/P	<b>Regular: 67 %</b>
Tipo IV	21 - 40	31	F/MP	<b>Mala: 25 %</b>
Tipo V	19 - 21	19	MF-IF/MP	Muy Mala: 6%

Según lo indicado en el Cuadro 38 del Nivel 4480, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo III y Tipo IV. De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, la condición estructural es parcialmente disturbada, encontrando bloques angulosos formados por más de cuatro sistemas de discontinuidades, el relleno pobre y la orientación desfavorable alteran la calidad del macizo rocoso, siendo necesario colocar sostenimiento pesado (Actualmente cuenta con cuadros de madera).

**Cuadro 39**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados**  
**NIVEL 4518**

<b>Tipo de roca</b>	<b>Rango RMR</b>	<b>Promedio RMR</b>	<b>Promedio GSI</b>	<b>% de la masa rocosa según RMR</b>
Tipo II	60 - 63	63	F/B-R	Buena : 17 %
Tipo III	41 - 56	48	F/P	<b>Regular: 73 %</b>
Tipo IV	21 - 40	39	F/MP	Mala: 6 %
Tipo V	19 - 21	21	MF-IF/MP	Muy Mala: 4%

Según lo indicado en el Cuadro 39 del Nivel 4518, prevalecen en mayor porcentaje la Roca Tipo III.

De acuerdo a la estadística de los parámetros geomecánicos evaluados, el grado estructural, Moderadamente Fracturado y el parámetro ligeramente rugoso, originan estabilidad en el macizo rocoso.

### 5.7. Clasificación de la masa rocosa en labores temporales

Para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa se utilizó la información desarrollada precedentemente, aplicando los criterios de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocosos – 1989) y la Clasificación del índice Geológico de Resistencia (GSI) propuesto por Hoek (1995).

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos mediante datos en campo con el martillo Schmidt

En el siguiente cuadro un resumen por vetas.

**Cuadro 39**  
**Clasificación de la masa rocosa**  
**Resumen de resultados por tajos:**

Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	60 - 65	63	F/R	<b>Buena : 21 %</b>
Tipo III	41 - 58	47	F/P	<b>Regular: 42 %</b>
Tipo IV	21 - 40	38	MF/P-MP	Mala: 17 %
Tipo V	19 - 21	20	MF/MP	Muy Mala: 10 %

El cuadro 40 y el gráfico 1, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Bienaventurada.

## Veta Bienaventurada

**Cuadro 40**

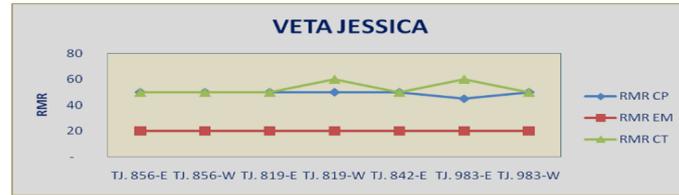


**Grafico 01**

El cuadro 41 y el gráfico 02, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Jessica.

**Cuadro 41: Clasificación Geomecánica.**

Veta Jessica				
Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	59 - 61	59	F/R	Buena : 9 %
Tipo III	41 - 58	44	F/P-MP	Regular: 46 %
Tipo IV	21 - 40	23	MF/P-MP	Mala: 43 %
Tipo V	19 - 21	19	IF/MP	Muy Mala: 2 %

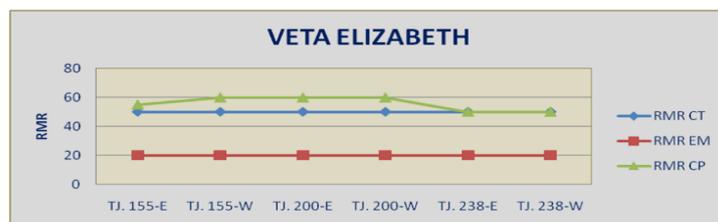


**Grafico 02**

El cuadro 42 y el gráfico 03, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Elizabeth.

**Cuadro 42: Clasificación Geomecánica.**

Veta Elizabeth				
Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	59 - 61	59	F/R	Buena : 8 %
Tipo III	41 - 58	42	F/MP	Regular: 38 %
Tipo IV	21 - 40	26	MF/MP	Mala: 49 %
Tipo V	19 - 21	20	MF-IF/MP	Muy Mala: 5 %

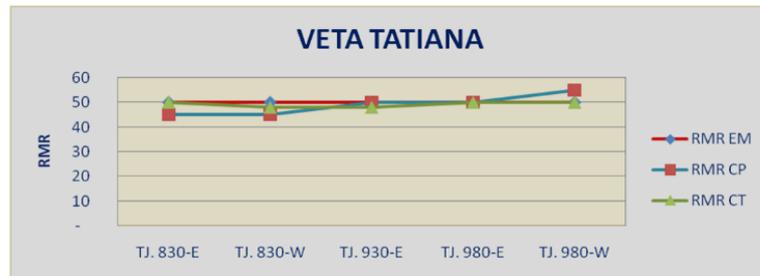


**Grafico 03**

El cuadro 43 y el gráfico 04, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Tatiana.

**Cuadro 43: Clasificación Geomecánica.**

Veta Tatiana				
Tipo de roca	Rango RMR	Promedio RMR	Promedio GSI	% de la masa rocosa según RMR
Tipo II	60 - 61	60	F/R	Buena : 6 %
Tipo III	41 - 58	48	F/P-MP	Regular: 46 %
Tipo IV	21 - 40	35	MF/P-MP	Mala: 29 %
Tipo V	19 - 21	20	IF/MP	Muy Mala: 19 %



**Gráfico 04**

## 5.8. RESISTENCIA DE LA ROCA

### 5.8.1 Resistencia de la roca intacta

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta ( $\sigma_c$ ). Los valores de  $\sigma_c$  fueron obtenidos mediante los siguientes procedimientos:

- Ensayos in-situ de impacto con el martillo Schmidt de dureza, durante los trabajos de mapeo geotécnico de exposiciones rocosas subterráneas
- Ensayos de Carga puntual, efectuados en el campo con el equipo del Dpto. de Geomecánica.
- Ensayos de compresión uniaxial efectuados en un laboratorio de Mecánica de Rocas como parte de este estudio.

### **Resultados de los ensayos con el Martillo Schmidt**

Durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geotécnico, se han realizado ensayos de dureza con el Martillo Schmidt, a fin de calcular la resistencia compresiva uniaxial. Si bien el valor obtenido con este ensayo es de menor precisión que un ensayo de laboratorio, sin embargo, debido a la gran cantidad de ensayos ejecutados in-situ en los diferentes tipos de rocas.

Realizados los ajustes necesarios los valores promedio se presentan en el cuadro 43.

**Cuadro 43**

<b>TIPO DE ROCA</b>	<b>MARTILLO DE SCHMIDT (Mpa).</b>
II	63.0
III	59.0
IV	48.0

#### **5.8.2 Resistencia de la masa rocosa**

Con el fin de realizar los cálculos de estabilidad, las propiedades de resistencia de la masa rocosa, referidas a la compresión, tracción y parámetros de corte, fueron estimadas según el criterio de falla de Hoek and Brown (1980), considerando la versión actualizada de 1988 y los criterios modificados de 1992 (Hoek et. al), a partir del conocimiento de la calidad del macizo rocoso (RMR), la resistencia compresiva uniaxial (UCS) y la constante “mi”. Por otro lado, el módulo de deformación de la masa rocosa

ha sido estimado según los ensayos de laboratorio (Serafín & Pereira) y según programas Geomecánicos (software RocLab).

Cuadro 44: Parámetros para modelamiento numérico del Tajo 493 y Puente Mineral

SEGÚN ENSAYOS DE CAMPO Y ÁBACOS, TAJO 493						
PROPIEDADES	CAJA PISO	MINERAL CP	INTER VETA	MINERAL CT	CAJA TECHO	RELLENO
Resistencia (Mpa)	108.0	113.0	57.0	20.0	83.0	1.0
E (módulo de Young)	10,000	5,600	10,070	670	9,100	100
u (constante de Poisson)	0.25	0.25	0.25	0.3	0.25	0.3
Densidad (tn/m3)	2.70	3.00	2.70	3.00	2.70	2.70
Parámetro mb	2.581	1.312	2.977	0.366	2.346	0.052
Parámetro s	0.0025	0.0007	0.0048	0.00003	0.0025	0.0001
Parámetro a	0.504	0.508	0.503	0.538	0.504	0.561
Encampane	300	300	300	300	300	300

SEGÚN ENSAYOS DE CAMPO Y ÁBACOS, PUENTE MINERAL Y TAJO 493						
Resistencia (Mpa)	41.5	58.1	-	-	38.3	1
E (módulo de Young)	6,440	2,400	-	-	6,180	100
u (constante de Poisson)	0.25	0.3	-	-	0.25	0.3
Densidad (tn/m3)	2.70	3.00	-	-	2.70	2.70
Parámetro mb	2.346	0.679	-	-	2.346	0.052
Parámetro s	0.0025	0.0002	-	-	0.0025	0.0001
Parámetro a	0.504	0.516	-	-	0.504	0.561
Encampane	300	300	-	-	300	300

Parámetros indicados arriba son los obtenidos para el modelamiento numérico del tajo 493 (in situ) y de la condición del puente mineral. Cada uno tiene parámetros distintos por estar localizados en zonas distintas. Además, los ensayos de campo y la recolección de muestras arrojaron estos valores.

Cuadro 45: Parámetros obtenidos de ensayos de laboratorio y Software

SEGÚN ENSAYOS DE LABORATORIO Y SOFTWARE						
Resistencia (Mpa)	87.31	58.1	-	-	66.11	-
E (módulo de Young)	5,638	3,200	-	-	5,100	-
u (constante de Poisson)	0.26	0.3	-	-	0.32	-
Densidad (tn/m3)	2.58	2.69	-	-	2.75	-
Parámetro mb	2.259	0.574	-	-	1.166	-
Parámetro s	0.0007	0.0003	-	-	0.0007	-
Parámetro a	0.508	0.511	-	-	0.508	-
Encampane	300	300	300	300	300	300
Parámetro mi	30.74	-	-	-	15.92	-
RMRm	45	40	-	-	45	-

Los parámetros indicados en el cuadro de arriba, son los obtenidos de ensayos recientes de laboratorio a las muestras de roca y mineral del tajo 493 (ver Anexo II). Estos resultados son calculados obtenidos de la aplicación directa de los resultados con el Software RocLab o RockData, que nos orienta en la obtención de otras constantes del material ensayado.

Cuadro 46: Parámetros básicos y generales para modelamiento numérico

<i>PROMEDIOS BÁSICOS Y GENERALES SEGÚN LABORATORIO, SOFTWARE, INTERPRETACIONES Y CONSIDERACIONES DE CAMPO</i>						
Resistencia (Mpa)	78.94	76.40	57.00	20.00	62.47	1.00
E (módulo de Young)	7,359	3,733	10,070	670	6,793	100
u (constante de Poisson)	0.25	0.28	0.25	0.30	0.27	0.30
Densidad (tn/m3)	2.66	2.90	2.70	3.00	2.72	2.70
Parámetro mb	2.395	0.855	2.977	0.366	1.953	0.052
Parámetro s	0.0019	0.0004	0.0048	0.00003	0.0019	0.0001
Parámetro a	0.505	0.512	0.503	0.538	0.505	0.561
Encampane	300	300	300	300	300	300
Parámetro mi	30.74	-	-	-	15.92	-
RMRm	40 - 50	35 - 45	-	-	40 - 50	-

Parámetros indicados arriba, son los obtenidos de la interrelación, interpretación y promedios; de los valores obtenidos en campo, en laboratorio y del software Geomecánico. Estos valores podrían ser considerados como parámetros básicos y generales de la zona de evaluación del tajo 493. Es decir, podemos genera modelos numéricos en base a estos valores y calibrar (mejorar) los valores en base a resultados de ensayos de laboratorio y de campo para cada zona de evaluación o estudio requerido.

## **5.9. CONDICIONES DEL AGUA SUBTERRÁNEA:**

En Rocas masivas y levemente fracturadas, muy buenas a buenas la presencia del agua no tiene influencia significativa, en rocas moderadamente a muy fracturadas, regulares, la influencia se debe a la presión y efecto lubricante.

En rocas moderadamente a muy fracturadas, pobres a muy pobres el efecto es inmediato por actuar como lubricante y lavado de material fino de relleno en fracturas, acelerando el aflojamiento.

En rocas intensamente fracturadas, regulares pobres o muy pobres se produce el efecto anteriormente mencionado,

En algunas zonas de los niveles se puede apreciar aguas ácidas por lo que el sostenimiento con malla electrosoldada se encuentra corroída, siendo necesario monitorear los niveles y verificar el (PH), de acuerdo a ello recomendar otro elemento de sostenimiento.

**A continuación, se muestran los resultados de la evaluación estadística de la presencia de agua en la mina Bienaventurada.**

El cuadro 47, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Bienaventurada.

### Cuadro 47: Presencia de Agua.

Veta Bienaventurada		
9%	91%	100%
Seco	Húmedo	TOTAL



El cuadro 48, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Jessica.

### Cuadro 48: Presencia de Agua.

Veta Jessica		
78%	22%	100%
Seco	Húmedo	TOTAL



El cuadro 49, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Elizabeth.

### Cuadro 49: Presencia de Agua.

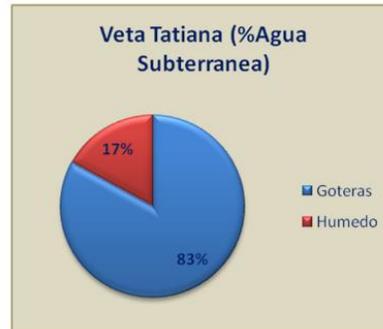
Veta Elizabeth		
83%	17%	100%
Seco	Húmedo	TOTAL



El cuadro 50, muestran los resultados de la evaluación estadística de la Veta Tatiana.

**Cuadro 50: Presencia de Agua.**

Veta Tatiana		
83%	17%	100%
Goteras	Húmedo	TOTAL



La veta Tatiana según los cuadros estadísticos es la que presenta mayor presencia de goteras, por la condición de rellenos blandos, arcillosos, genera inestabilidad.

#### **5.10. ESFUERZOS IN SITU**

Se ha evaluado una aproximación del tensor de esfuerzos in-situ (magnitud y orientación) en base a evaluaciones de fallas conjugadas de la zona del área de influencia del tajo 493 – veta Bienaventura y proyecto Alimak.

Para el estado de esfuerzos in situ:  $k = 0.42 + (850/z)$ , se ha recurrido también al estudio de los últimos avances en la estimación de las magnitudes del estado de esfuerzos in situ en el Perú (G.K. & M. Ch. M & G. D. L. S., GLSA, PERÚ, 2010).

El cuadro 51 presenta el resultado aprox. de la magnitud y orientación de los Esfuerzos in situ, utilizados en el modelamiento

numérico conceptual, realizado para la evaluación de las condiciones de estabilidad en el Tajo 493 y en las condiciones de estabilidad del proyecto del ALIMAK.

ESFUERZO PRINCIPAL	MAGNITUD (Mpa)	ORIENTACIÓN		INFLUYENTE	INCLINACIÓN
		Dip	DDip		
S1	8,10	65	0	SI	65°
S2	6,05	0	N45°E	NO	---
S3	4,00	25	N47°W	SI	-25

**Cuadro 51**

---

## **CAPITULO VI**

### **ANALISIS Y RESULTADOS**

#### **6.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD**

##### **6.1.1 Métodos de cálculo**

Para el análisis de la estabilidad de las excavaciones subterráneas a realizarse en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A.C. (tajos, pilares y puentes) se emplean los “métodos empíricos” (Método Gráfico de Estabilidad de Mathews modificado por “Potvin & Milne, 1992”, dimensionamiento de pilares, según el modelo de “Obert & Duvall, 1967”, dimensionamiento de puentes “Sill Pillars”, según el modelo de “Carter, 1992”).

La información válida para los propósitos del análisis de estabilidad de las excavaciones subterráneas en la mina consiste en:

- Información gráfica “modelo topográfico y el modelo geológico” proporcionados por la mina.
- Información numérica “modelo geomecánico” de la mina obtenida del proceso, análisis e interpretación de los trabajos de “Investigación geomecánica de campo y laboratorio”.

El análisis de estabilidad de tajos utilizando el “*Método Gráfico de Estabilidad de Mathews, modificado por Potvin & Milne, 1992*” consiste en determinar los parámetros fundamentales que controlan la estabilidad de los tajos (“número de estabilidad N” y “Radio hidráulico S”). La metodología se basa en el cálculo del número de estabilidad “N”, con el cual se ingresa al ábaco del “*Gráfico de estabilidad*” para determinar el valor del radio hidráulico “S” en los distintos escenarios de diseño (tajos sin sostenimiento y tajos con sostenimiento), según la configuración del método de explotación sugerido.

Los análisis de estabilidad para el dimensionamiento de los “Pilares y Puentes” utilizando los modelos desarrollados por “Obert & Duvall, 1967” y “Carter, 1992” respectivamente, se realizan sobre la base del dimensionamiento de los tajos.

### **6.1.2 Factores de seguridad.**

Los factores de seguridad del diseño aceptables en los análisis de estabilidad para propósitos de este informe, considerando los distintos métodos de análisis (para tajos, pilares y puentes) se muestran en la tabla 10.

**Tabla 1: Factores de seguridad del diseño.**

CONDICION DE ANÁLISIS	CRITERIO DE ESTABILIDAD
Análisis de estabilidad tajos, pilares y puentes (M.E)	F.S>1.5
Análisis de estabilidad estructuralmente controlada	F.S>1.5
F.S: Factor de Seguridad del Diseño	

Los valores mostrados en la tabla 1, son valores mínimos referenciales del “Factor de seguridad” obtenidos en los análisis de estabilidad considerados en la práctica ingenieril y con aceptación en el medio local.

### **6.1.3 Condiciones para el análisis de estabilidad.**

Para el “análisis de estabilidad de los tajos”, se han considerado las secciones geomecánicas del modelo geomecánico. Estas secciones geomecánicas son representativas desde el punto de vista “topográfico – geológico - geomecánico” para el análisis de la estabilidad; en ellas se han analizado las condiciones proyectadas del diseño de explotación.

Las propiedades de los materiales que conforman el modelo geomecánico son los valores de la tabla 7, los mismos que servirán como parámetros de ingreso “Inputs” para los distintos análisis de estabilidad que se realizarán en los siguientes acápite. Estos análisis se efectuarán iterativamente, tendiendo a determinar los parámetros adecuados desde el punto de vista de la maximización del aprovechamiento de los recursos explotables y el establecimiento de condiciones de estabilidad que garanticen operaciones eficientes en la mina.

## 6.2 DIMENSIONAMIENTO DE TAJOS.

La técnica del “Método Gráfico de Estabilidad” desarrollado por “Mathews y modificado por Potvin & Milne, 1992”, es una técnica empírica basada en el análisis de más de 350 casos históricos de minas subterráneas Canadienses, su aplicación como herramienta de diseño es importante dado que considera los principales factores de influencia en el diseño de tajos como son: “Información sobre la estructura rocosa: resistencia de la masa rocosa, magnitud de los esfuerzos alrededor de la excavación y la geometría de la excavación: tamaño, forma y orientación de las excavaciones” para determinar si el tajo será estable “sin sostenimiento, estable con sostenimiento o inestable aún con la aplicación del sostenimiento”.

El procedimiento de diseño con la aplicación de este método está basado en la determinación del número de estabilidad “N” y el radio hidráulico del tajo “S”.

### 6.2.1 Determinación del número de estabilidad “N”.

El número de estabilidad representa “la respuesta de la masa rocosa para permanecer estable bajo una condición de esfuerzos dado”. La determinación del número de estabilidad “N”, se obtiene mediante la siguiente ecuación matemática:

$$N = Q' * A * B * C$$

**Tabla 2: Número de estabilidad “N” de los tajos en la veta “Arequipa M”.**

DOMINIO	ZONA DE DISEÑO			ESTIMACIÓN DEL NUMERO DE ESTABILIDAD N'						
		RMR	GSI	Q'	$\sigma_{ci}$	$\sigma_{max}$	A	B	C	N'
GRUPO I	Caja techo	68	63	8.3	90	10.4	0.79	0.18	5	6.5
	Mineral	56	51	2.2	50	10.4	0.47	0.18	5	1.0
	Caja piso	67	62	7.4	70	10.4	0.64	0.18	5	4.7
GRUPO II	Caja techo	57	52	2.4	60	10.4	0.56	0.18	5	1.3
	Mineral	48	43	0.9	45	10.4	0.42	0.18	5	0.4
	Caja piso	52	47	1.4	50	10.4	0.47	0.18	5	0.6

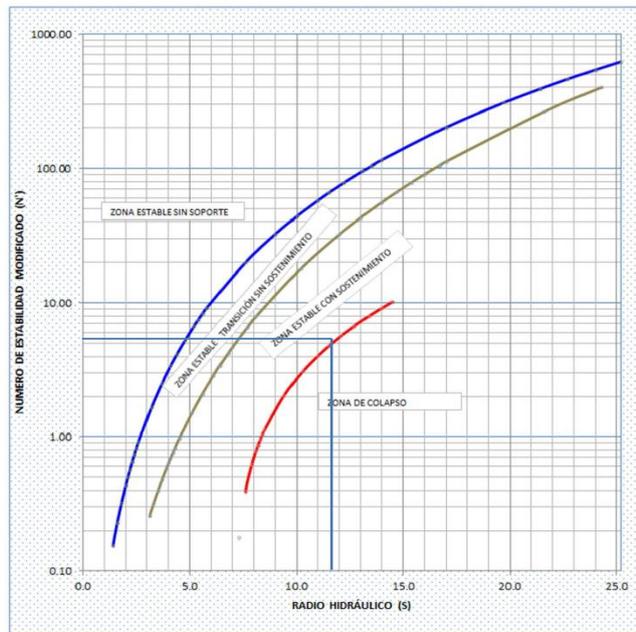
### 6.2.2 Cálculo del radio hidráulico “S”.

Para estimar el radio hidráulico de los tajos, se ingresa al ábaco “*Gráfico de Estabilidad*”, según el escenario de diseño (diseño en el límite del auto-soporte) se obtiene el valor del radio hidráulico de la superficie del tajo. El cual representa una relación dimensional entre el área y el perímetro de la superficie del tajo y se representa mediante la ecuación:

la ecuación:

$$S = \frac{\text{área}}{\text{perímetro}}$$

**Figura 19: Gráfico de estabilidad de Mathews modificado por Potvin & Milne, 1992.**



De la figura 19 (“Grafico de Estabilidad”), habiendo obtenido el valor del radio hidráulico “S” y haciendo constante uno de los parámetros del radio hidráulico que para el caso es la “potencia de la estructura mineralizada”, se itera de modo sucesivo hasta encontrar la dimensión incógnita (altura y longitud) según el escenario de diseño proyectado. Los resultados de la estimación del radio hidráulico “S” considerando los distintos “dominios geomecánicos” se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3: Radio hidráulico “S”.**

ZONA DE DISEÑO			NÚMERO DE ESTABILIDAD (N°)	RADIO HIDRÁULICO (S)		
DOMINIO	RMR	GSI		ZONA ESTABLE	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO	
GRUPO I	Caja techo	68	63	6.5	5.1	11.6
	Mineral	56	51	1.0	2.7	6.0
	Caja piso	67	62	4.7	4.6	10.4
GRUPO II	Caja techo	57	52	1.3	3.0	6.7
	Mineral	48	43	0.4	1.9	5.3
	Caja piso	52	47	0.6	2.3	4.8

Los resultados mostrados en la tabla 3, son los valores del radio hidráulico “S”, obtenidos usando el “Grafico de Estabilidad” para cada escenario de diseño (diseño con auto-soporte, y diseño con sostenimiento).

El proceso de cálculo considerando la información del modelo geológico de la Mina se tiene que la geometría de la estructura mineralizada es irregular y además presenta un buzamiento “sub-vertical”, para propósitos del “dimensionamiento geomecánico” empleando la técnica del “Método gráfico de estabilidad”, los dominios geomecánicos “caja techo y mineral” serán las zonas de diseño. En la tabla 4, se muestra los dominios geomecánicos (calidad de roca) e información del “Número de estabilidad y Radio

hidráulico” según los escenarios de diseño en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A.

**Tabla 4: Radio hidráulico “S”.**

ZONA DE DISEÑO		NÚMERO DE ESTABILIDAD (N')	RADIO HIDRÁULICO (S)	
DOMINIO			ZONA ESTABLE	ESTABLE CON SOSTENIMIENTO
GRUPO I	Caja techo	6.5	5.1	11.6
	Mineral	1.0	2.7	6.0
GRUPO II	Caja techo	1.3	3.0	6.7
	Mineral	0.4	1.9	5.3

Las dimensiones de los tajos (altura y longitud) para los valores de radio hidráulico mostrados en la tabla 3, se obtienen por iteración sucesiva haciendo constante el ancho de minado (perpendicular al rumbo de la veta) utilizando la relación “ $S = \text{Área/Perímetro}$ ”. Los resultados de esta iteración para los tajos sin sostenimiento y tajos con sostenimiento” se muestran en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5: Dimensiones de tajos sin sostenimiento.**

DIMENSIONAMIENTO DE TAJOS SIN SOSTENIMIENTO			
ZONA	ANCHO (m)	ALTURA (m)	LONGITUD (m)
GRUPO I	Hasta 1.5	3.0	25
GRUPO II	Hasta 1.5	2.5	20

Los resultados mostrados en la tabla 5, corresponden a las dimensiones de los “**TAJOS SIN SOSTENIMIENTO**”. De manera didáctica se puede indicar que en el Grupo I: para un ancho tajo hasta 1.5 metros con el radio hidráulico “ $S= 2.68$ ” del “Mineral”, se obtiene una altura de tajo equivalente a 3 metros, para esta altura de tajo y considerando el radio hidráulico “ $S=5.12$ ” de la caja techo se estima una longitud de 25 metros en el rumbo de la veta.

**Tabla 6: Dimensiones de tajos con sostenimiento.**

DIMENSIONAMIENTO DE TAJOS CON SOSTENIMIENTO			
ZONA	ANCHO (m)	ALTURA (m)	LONGITUD (m)
GRUPO I	Hasta 1.5	40	50
GRUPO II	Hasta 1.5	40	50

Los resultados mostrados en la tabla 6, corresponden a las dimensiones de los **“TAJOS CON SOSTENIMIENTO”**. A modo didáctico se puede indicar que en el “Grupo II: para un ancho de tajo hasta 1.5 metros con el radio hidráulico “S=5.32” del “Mineral” se obtiene una “altura de tajo equivalente a 40 metros”; para esta altura de tajo y considerando el radio hidráulico “S=6.69” de la caja techo se estima una longitud de tajo equivalente a 50 metros en el rumbo de la estructura mineralizada.

### **6.2.3 Dimensionamiento de pilares.**

El dimensionamiento de los pilares considerado como un aspecto importante del diseño para la explotación en U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, parte del “Dimensionamiento de tajos” obtenidos con el “Método Gráfico de Estabilidad”. El diseño de los pilares contempla dos aspectos fundamentales del diseño minero “Seguridad y Economía”, en este contexto y utilizando como herramienta matemática el algoritmo propuesto por “Obert & Duvall, 1967” se procede a “dimensionar de los pilares”, según la relación:

$$Sp = \sigma ci * \left[ \left( 0.78 + 0.22 * \left( \frac{W}{H} \right) \right) \right]$$

La información necesaria el dimensionamiento de los pilares, según el modelo de “Obert & Duvall, 1967” son:

- Relación “Ancho/Altura” del pilar (W/H).
- Razón de extracción.
- Carga litostática.
- Esfuerzo medio del pilar ( $\sigma$ ).
- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta del pilar ( $\sigma ci$ ).
- Resistencia media del Pilar (Sp).

La potencia de las vetas en U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, en los grupos “I y II” se consideran como una dimensión fija para los pilares, el ancho mínimo para mantener una geometría estable de los pilares se estima de la relación “W/H”, donde “W es el ancho del pilar, y H es la altura de pilar”.

En las tablas 16 y 17, se muestran los resultados del “cálculo preliminar” realizado para el diseño de los pilares utilizando el modelo de “Obert & Duvall, 1967” para las condiciones geomecánicas del mineral en las vetas de la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A.

**Tabla 7: Diseño de pilares, tajos sin sostenimiento.**

ZONA	DIMENSIONES DE CÁMARAS (m)		DIMENSIONES DEL PILAR (m)			PARAMETROS DE CÁLCULO, Según "Obert & Duvall, 1967)			
	Ancho de Cámara (m)	Longitud de Cámara (m)	Ancho del Pilar (m)	Longitud del Pilar (m)	Altura Cámara y Pilar (m)	Carga Litostática	Esfuerzo Medio en el Pilar	Resistencia Media del Pilar (Sp)	F.S
GRUPO I	1.5	25	1.5	25	3.0	8	16	45	1.9
GRUPO II	1.5	20	1.5	20	2.5	8	16	41	1.8

**Tabla 8: Diseño de pilares, tajos con sostenimiento.**

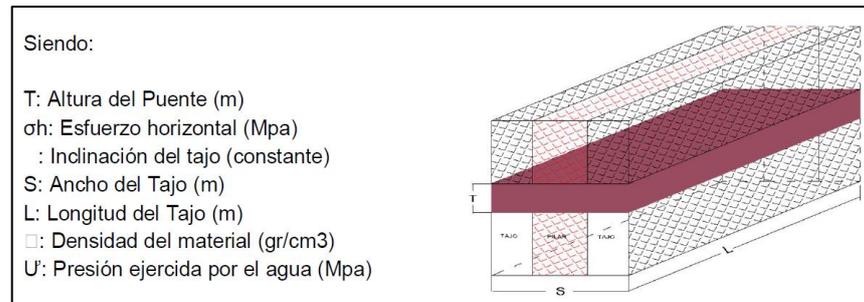
ZONA	DIMENSIONES DE CÁMARAS (m)		DIMENSIONES DEL PILAR (m)			PARAMETROS DE CÁLCULO, Según "Obert & Duvall, 1967)			
	Ancho de Cámara (m)	Longitud de Cámara (m)	Ancho del Pilar (m)	Longitud del Pilar (m)	Altura Cámara y Pilar (m)	Carga Litostática	Esfuerzo Medio en el Pilar	Resistencia Media del Pilar (Sp)	F.S
GRUPO I	1.5	50	2.0	50	40	8	14	40	2.0
GRUPO II	1.5	50	2.0	50	40	8	14	36	1.8

Los resultados mostrados en las tablas “5 y 6”, indican las dimensiones de los pilares en los “tajos sin sostenimiento y tajos con sostenimiento”. Es necesario precisar que el diseño de los pilares se realiza considerando que estos deben quedar in-situ, posterior al minado de la estructura, aun con la aplicación del relleno.

#### **6.2.4 Dimensionamiento de puentes (Sill Pillars).**

El dimensionamiento de puentes, considerado como otro aspecto importante del diseño minero en U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, desde el punto de vista geomecánico según investigaciones realizadas para los métodos de explotación aplicables se consideran el diseño de “Puentes” en el mineral, el cual es de baja calidad geomecánica (Regular), esto necesariamente condiciona a dimensionar puentes de mayor altura y establecer estrictos controles de voladura e instrumentación geomecánica para control del minado.

El dimensionamiento de puentes, está condicionado a las aberturas de diseño de los “tajos y pilares”, para cuyas dimensiones se estimará la altura de los puentes, usando el formulismo desarrollado por “Carter, 1992”, como se detalla en la siguiente ecuación:



El modelo de “Carter, 1992”, postula que la estabilidad del puente (Sill Pillars) se puede expresar en términos del factor de seguridad, usando la relación mostrada en la ecuación 2, donde un valor de “C.S < 1.0” implica condiciones de inestabilidad, “F.S = 1.0- 1.5” condición de equilibrio límite y “F.S >= 1.5” implica condiciones estables. En la tabla 18, se muestran los resultados del “cálculo de puentes” para las condiciones geomecánicas del mineral utilizando el modelo desarrollado por “Carter, 1992”.

**Tabla 7: Diseño de puentes.**

ZONA	PARAMETROS DE CÁLCULO, Según "Carter, 1992)							
	Ancho del Tajo (S)	Longitud del Tajo (L)	Altura del Puente (T)	Densidad del Material ( $\gamma$ )	Buzamiento del Tajo ( $\theta$ )	Esfuerzo en el Puente ( $\sigma_h$ )	Presión del Agua ( $u$ )	Estabilidad del Puente (C.S)
GRUPO I	1.5	50	3	2.8	75	9.4	1	3.9
GRUPO II	1.5	50	3	2.8	75	9.4	1	3.9

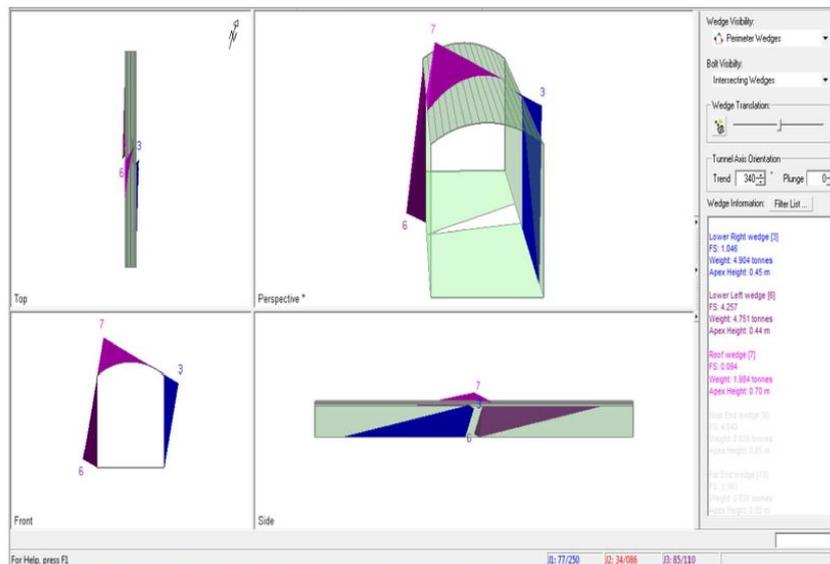
Los resultados mostrados en la tabla “7”, indican las dimensiones de los puentes en mineral para los grupos I-II, indistintamente se trate del diseño de tajos con sostenimiento o sin sostenimiento.

### 6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA.

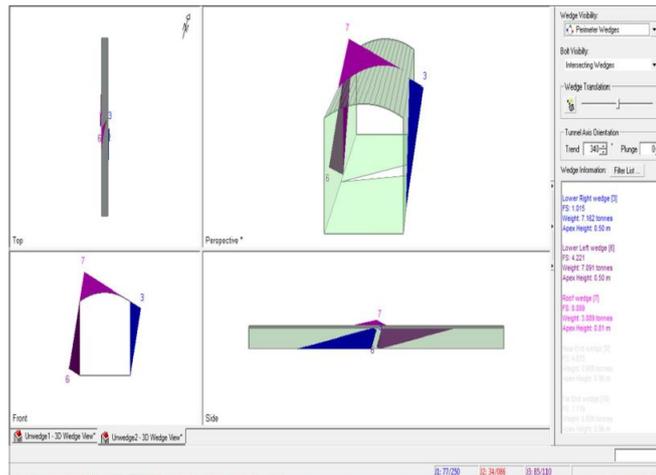
En este acápite se realiza el análisis de estabilidad estructuralmente controlada usando el “Software Unwedge 3.0, versión 3.004, de Rocscience Inc.2004”, este software está diseñado específicamente para el “análisis de estabilidad de cuñas en excavaciones subterráneas”, cuyo procedimiento para el análisis consiste en:

- Determinación de la “dirección de buzamiento/ buzamiento” de los principales sistemas de discontinuidades estructurales.
- Identificación de cuñas, potencialmente inestables y/o susceptibles al desprendimiento.
- Determinación del factor de seguridad de las cuñas.

**Figura 20:** Análisis de estabilidad estructuralmente controlada Sub-nivel de “2.1x2.4m<sup>2</sup>”, desarrollado con dirección “NW-SE en la misma estructura mineralizada.



**Figura 21:** Análisis de estabilidad estructuralmente controlada- Galería de “2.4x2.7m<sup>2</sup>”, desarrollado con dirección NW-SE en la misma estructura mineralizada.



En las figuras “20 y 21”, se tiene la intersección de los ejes de minado con el arreglo estructural de la masa rocosa forman cuñas “potencialmente inestables con factores de seguridad inferiores a 1.5”, esto implica una probable inestabilidad en las excavaciones por el desprendimiento de cuñas “desde el techo y las paredes de la excavación”. En este contexto para lograr la estabilidad de las cuñas con probabilidad de falla (caída) será necesario la aplicación de elementos de sostenimiento como “soporte y/o refuerzo de rocas” según sea el carácter “temporal o permanente” de la excavación con la finalidad de incrementar el factor de seguridad “F.S” en las cuñas hasta un mínimo de 1.5.

## 6.4. DISEÑO DEL SOSTENIMIENTO

### 6.4.1 Establecimiento de las direcciones preferenciales del minado.

Del análisis estereográfico de estabilidad estructuralmente controlada y las condiciones naturales que presenta la estructura mineralizada y su entorno físico (figura 6) se tiene que la dirección de minado serán en la dirección “S15-20°E”, aun cuando esta configuración no es la más favorable por ser paralela a los sistemas dominantes que se

exponen en los dominios “caja techo, estructura mineralizada y caja piso”, por razones de orden técnico la dirección del minado será paralela al rumbo de la estructura mineralizada.

#### **6.4.2 Tiempo de “Auto-soporte vs. Calidad RMR<sub>89</sub>.” de la masa rocosa.**

De las investigaciones geomecánicas, se tiene que la masa rocosa en el área de influencia del minado los “dominios geomecánicos” que involucra el diseño de la explotación se caracterizan con la siguiente valoración RMR<sub>89</sub> promedio:

- **Grupo I:** “Caja techo RMR = 68; Estructura mineralizada RMR = 56; Caja piso RMR = 67”.
- **Grupo II:** “Caja techo RMR = 57; Estructura mineralizada RMR = 48, Caja piso RMR= 52”.

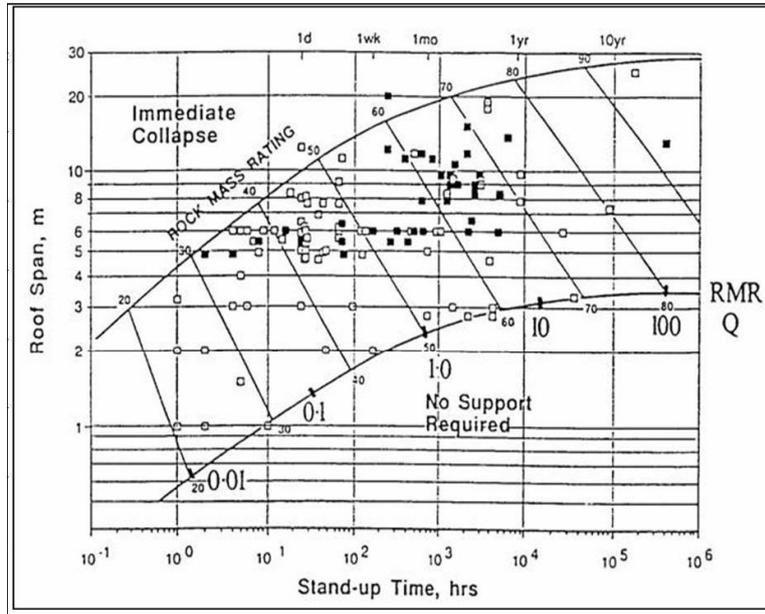
Las dimensiones de las excavaciones subterráneas considerándose que U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, es una unidad minera en explotación y por lo tanto el diseño de las excavaciones obedece a las dimensiones de las máquinas y equipos (Perforadoras, carros mineros, palas cavo, etc.) y los estándares de diseño para la aplicación de “Minería sobre rieles y semi mecanizada”.

Dada las condiciones de una probable inestabilidad estructuralmente controlada (figuras 19 y 20), desde el punto de vista geomecánico es necesario *establecer cuáles serán los tipos de sostenimiento (soporte o refuerzo de rocas) según el carácter “temporal o permanente”* de

las excavaciones subterráneas. En este contexto es fundamental definir en primer lugar *“El Tiempo de Autosoporte vs Abierto Máximo”* de las excavaciones utilizando el ábaco de Bieniawski (tabla 19) en función a la calidad geomecánica de la masa rocosa, obteniéndose el valor de la “Abertura máxima”, con este valor de abertura, se obtiene el “Tiempo de Auto-soporte” como se puede ver al lado izquierdo del gráfico (en la tabla 19) donde se muestran las *“Aberturas máximas y los Tiempos de Autosoporte”* en función a la calidad de masa rocosa para labores “temporales y permanentes”.

**Tabla 8: “Aberturas máximas vs Tiempo de Auto-soporte”, mina “Arequipa M”.**

TIEMPO DE AUTOSOPORTE V.S ABERTURA MÁXIMA						
CODIGO	TIPO DE ROCA	RMR	ABIERTO MÁXIMO SIN SOPORTE LABOR PERMANENTE (M)	ABIERTO MÁXIMO SIN SOPORTE LABOR TEMPORAL (M)	TIEMPO DE AUTOSOPORTE (DIAS)	
	BUENA "A"	7-80	13	16	120	100
	BUENA "B"	6-70	6	8	60	40
	REGULAR "A"	5-60	3	3	15	10
	REGULAR "B"	4-50	3	3	2	2
	MALA "A"	3-40	2	2	10 hrs	8 hrs
	MALA "B"	2-30	1	2	6 hrs	6 hrs
	MUY MALA	< 21	1	1	4 hrs	2 hrs



### 6.4.3 Consideraciones técnicas para la aplicación del sostenimiento

En base a la evaluación Geomecánica, los tipos de sostenimiento aplicables en el proyecto serán:

- Pernos helicoidales cementados o con resina.
- Malla electrosoldada (calibre N°08, cuadrícula 10x10 cm).
- Pernos de fricción.
- Pernos de expansión.
- Cuadros de madera.

### 6.5 ESTIMACIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO.

En base a las características geológicas, el arreglo estructural, la caracterización Geomecánica, el análisis de estabilidad estructuralmente controlada que presenta la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, considerando la experiencia con resultados favorables en minas con similares condiciones los tipos de

sostenimiento a aplicarse para el control del terreno en la U.E.A.

HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A

**6.5.1 Sostenimiento en labores permanentes (SECCIÓN “2.40 x 2.70 m<sup>2</sup>”).**

**Roca muy Buena.** Sostenimiento puntual con pernos helicoidales (22mm de diámetro con placas de sujeción de 20cmx20cm y tuerca de ajuste) con “resina y/o cemento” a columna completa, Longitud de pernos 1.50 metros, diámetro de taladro sugerido 35+-5mm.

**Roca Buena.** Sostenimiento sistemático con pernos helicoidales (22mm de diámetro con placas de sujeción de 20cmx20cm y tuerca de ajuste) con “resina y/o cemento” a columna completa, Longitud de pernos 1.50 metros, distribución de pernos en forma de rombos con un espaciamiento de “1.70x1.70m<sup>2</sup>”, diámetro de taladro sugerido 35+-5mm.

**Roca Regular.** Sostenimiento sistemático con pernos helicoidales (22mm de diámetro con placas de sujeción de 20cmx20cm y tuerca de ajuste) con “resina y/o cemento” a columna completa más “malla electrosoldada” con abertura de 10x10cm<sup>2</sup> (calibre N°08) colocada a 1.0 metro del piso de la excavación. Longitud de pernos 1.50 metros, distribución de pernos en forma de rombos con un espaciamiento de “1.50x1.50m<sup>2</sup>”, diámetro de taladro sugerido “35+5mm”.

**Roca Mala.** Sostenimiento sistemático con pernos helicoidales (22mm de diámetro con placas de sujeción de 20cmx20cm y tuerca de ajuste) con “resina y/o cemento” a columna completa más “malla electrosoldada” con abertura de 10x10cm<sup>2</sup> (calibre N°08) colocada a

1.0 metro del piso de la excavación. Longitud de pernos 1.50 metros, distribución de pernos en forma de rombos con un espaciamiento de “1.20x1.20m<sup>2</sup>”, diámetro de taladro sugerido “35+5mm”.

#### **6.5.2 Sostenimiento en labores temporales (SECCIÓN “2.10 x 2.40 m<sup>2</sup>”).**

**Roca muy Buena.** Sostenimiento puntual con pernos de fricción (39mm de diámetro, placas de sujeción de 20cmx20cm), longitud de pernos 1.50 metros, diámetro de taladro sugerido 36-37mm.

**Roca Buena.** Sostenimiento sistemático con pernos de fricción (39mm de diámetro, placas de sujeción de 20cmx20cm), longitud de pernos 1.50 metros, diámetro de taladro sugerido 36-37mm, distribución de pernos en forma de rombos con un espaciamiento de “1.7x1.70m<sup>2</sup>”.

**Roca Regular.** Sostenimiento sistemático con pernos de fricción (39mm de diámetro, placas de sujeción de 20cmx20cm) más “malla electrosoldada” con abertura de 10x10cm<sup>2</sup> (calibre N°08) colocada a 1.0 metro del piso de la excavación, longitud de pernos 1.50 metros, diámetro de taladro sugerido 36-37mm, distribución de pernos en forma de rombos con un espaciamiento de “1.50x1.50m<sup>2</sup>”.

**Roca Mala.** Sostenimiento sistemático con pernos de expansión (26mm de diámetro sin expandir, placas de sujeción de 20cmx20cm) más “malla electrosoldada” con abertura de 10x10cm<sup>2</sup> (calibre N°08) colocada a 1.0 metro del piso de la excavación. Longitud de pernos 1.50 metros, diámetro de taladro sugerido 36-37mm, distribución de

pernos “1.20x1.20m<sup>2</sup>” y/o cuadros de madera de “8-10” pulgadas de diámetro completamente elementados (tirantes, topes, enrejados). El espaciamiento entre los cuadros será 1.20 metros.

## CONCLUSIONES

1. La masa rocosa que involucra el diseño para la explotación en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, es de calidad geomecánica “Buena a Regular” según la clasificación geomecánica RMR<sub>89</sub> de Bieniawski.
2. Los tipos de sostenimiento a aplicarse en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A, serán variados debido a que el diseño minero involucra distintos “Dominios geomecánicos”, además se ha tomado en consideración el carácter “temporal y/o permanente” de las labores mineras.
3. A mayores ensayos de campo y laboratorio, los valores promedios básicos indicados en las tablas superiores, tendrán tendencia a la mejora y a tener un carácter más aplicativo a la ingeniería básica y conceptual
4. De la caracterización Geomecánica, estructuralmente se han deducido formaciones de cuñas estructurales, cuyo análisis se presenta en forma independiente.

Como es de conocimiento todas las cuñas estructurales detectadas en los mapeos Geológicos y Geomecánicos, deben ser reforzadas y/o caso contrario desatadas o plasteadas. El mayor porcentaje de incidencia de caídas de rocas en las minas en Perú es debido a la caída de bloques de roca tipo cuña.

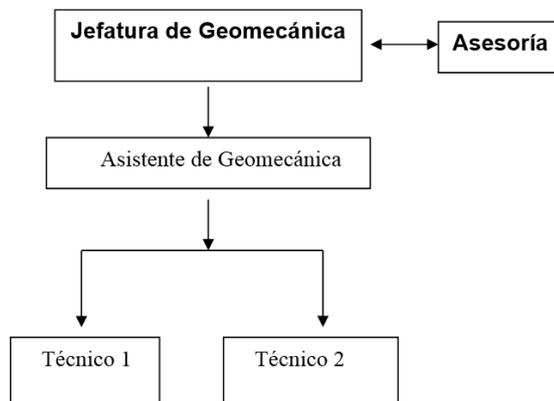
5. El nivel de los problemas de instalación del sostenimiento permanente y temporal que se presentan en la mina, normalmente es directamente proporcional al costo del daño que estas generen; costo que a su vez tendrá su correspondiente participación en el costo operacional de producción, situación que afecta directamente al giro esencial del negocio minero de Caudalosa. Ahora, la única forma de evitar el sobre costo en la instalación del sostenimiento es tener un grupo geomecánico bien cohesionado.

## **RECOMENDACIONES**

1. La calidad de masa rocosa es variable y está muy asociada al comportamiento estructural de las vetas, es necesase recomienda realizar actualizaciones del mapeo geomecánico conforme progresa el minado. Los planos de zonificación deben estar siempre en los paneles informativos de accesos a los tajos y/o frentes de explotación debidamente actualizados.
2. Del análisis de estabilidad estructuralmente controlada y las condiciones de masa rocosa auscultadas en las labores mineras se tiene gran incidencia de la exposición de cuñas en las paredes y techo de las excavaciones por lo tanto se recomienda practicar el “IPERC CONTINUO” con la finalidad de auscultar cuñas expuestas para eliminarlas y/o colocar el sostenimiento.
3. Es necesario precisar que los tipos de sostenimiento están en función a la calidad de masa rocosa y al carácter temporal y/o permanente de la excavación (galerías, tajos, subniveles, cámaras, etc.). esto implica implementar otras alternativas de sostenimiento.
4. Se recomienda la implementación del sostenimiento con lanzado de shotcrete, ya que es una alternativa para disminuir el consumo de madera, para ello las contratistas deben implementar una aliva con una cuadrilla especial e iniciar el entrenamiento respectivo.
5. Considerando que las operaciones en la U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A., cada vez son mayores y existe actualmente mayor demanda de trabajos geomecánicos en diversas áreas como: Zonas de explotación, Monitoreo geotécnico, Zona de excavaciones permanentes, procesamiento de datos, proyectos a corto,

mediano y largo plazo, y otros relacionados con geotecnia de superficie; es primordial contar con un departamento de Geomecánica bien cohesionado tendiente a mejorar el “performace” de la geomecánica en la zona de estudio.

Por la proyección de la mina, por ahora se sugiere que U.E.A. HUACHOCOLPA UNO de la Compañía Minera CAUDALOSA S.A debería contar como mínimo con el siguiente organigrama



Con el organigrama propuesto, el depto. De Geomecánica podría cumplir con algunas funciones requeridas en la unidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. D .F. Coates, Fundamentos de Mecánica de Rocas. Dpto. de Minas de Canadá, Toronto, 1974
2. Hoek E. And Brown, ET. “EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS EN ROCA” México, 1980.
3. Llanque Maquera O. Explotación Subterránea Métodos - Casos Prácticos Lima – Perú 1999 P. 71 - 76
4. E. Hoek, Rock Engineering Course Notes, Rocscience Edt. 2000
5. David Córdova Rojas, “MANUAL MECANICA DE ROCAS”, Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, Lima, Perú – 2004.
6. ‘Informe Preliminar del proyecto “Mina Arequipa M”
7. BENIAWSKI, Z. ROOCK, T. Determining rock mass deformability experience from case history. International Journal of Rock Mechanic Geomechanics Abstracts. Vol 15, No.15, Oct. 1978.
8. BENIAWSKI, Z. ROOCK, T. Determining rock mass deformability experience from case history. International Journal of Rock Mechanic Geomechanics Abstracts. Vol 15, No.15, Oct. 1978.
9. BLANCO, T. R y M. P. CARTAYA. Estimación de la resistencia de las rocas. Minería y Geología (Moa).No.1. 2000.
10. BOCK. H. Introducción a la mecánica de los macizos rocosos: Mir, Moscú.  
1983

11. BORISOV. A.A. Mecánica de rocas y de los Macizos: Nedra, Moscú. 1986.
12. BOLUCHOF. N. S. Mecánica de obras subterráneas: Nedra, Moscú. 1982.
13. FHILLIPS. F. C. la aplicación de las proyecciones estereográficas en geología estructural. Madrid: BLUME. 1975.125p.
14. BIENIAWSKI. Z. T. Geomechanic classification of rock masses and its application to tunnelinnng. Proc. III. Tnt. Congress for Rock Mechanic. ISMR. Vol IIA. 1974.
15. DE LA SOTA. P. G. Aplicación de la geomecánica a los refuerzos en roca con el desarrollo de las minas. Minería. No. 242, Julio – agosto 1996. (6-12 p).

## **ANEXO 1**

# **MAPEO GEOMECANICO EN EXCAVACIONES PERMANENTES**



CAUDALOSA				Sección: Nivel: 4300 Labor: RAMPA 2		Refer. Topog.: Fecha: 6 DE ABRIL 2018		Litología:		CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR		ESTIMACION DEL PUNTO RMR = 100 - (R + Q)	
Registro Nº		# Familia de Discontinuidades		Admit Labor		Condición de la Exposición:		Dimensión de la Labor:		Buzamiento Veta:		RMR	
Resistencia a la Compresión		ROD		Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		PROGRESIVAS	
Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		15		0		DEL AL OBSERVACIONES	
Punto de Impacto		1- > 200 MPa		1- > 200 MPa		1- No meteorizada		1- No meteorizada		1- No meteorizada		DEL AL OBSERVACIONES	
HD	7	8	15	4	3	3	4	15	-5	54	134E(20mt)	0	OBSERVACIONES
HI	7	8	8	4	3	3	4	15	-5	47			

Orient. Martillo		Numero de Golpes	
-90	0	45	90
HD	x	42	44
HI	x	40	42

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**	
Rumbo perpendicular al eje del túnel	Rumbo paralelo al eje del túnel
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45
Muy favorable	Favorable
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45
Regular	Desfavorable

DISCONTINUIDADES		REPETICIONES	
DIR. BUZ.	BUZ.	REP.	OBSERVACIONES
SET 1: 352	82	5	
SET 2: 326	70		
SET 3: 208	64	3	
SET 4: 321	80	3	
SET 5: 126	38		
SET 6: 164	74		
Falla 1	348	84	
Falla 2	338	79	
Falla 3			

CAUDALOSA				Sección: Nivel: 4300 Labor: RAMPA 2		Refer. Topog.: Fecha: 6 DE ABRIL 2018		Litología:		CLASIFICACION DEL MACIZO ROCOSO RMR		ESTIMACION DEL PUNTO RMR = 100 - (R + Q)	
Registro Nº		# Familia de Discontinuidades		Admit Labor		Condición de la Exposición:		Dimensión de la Labor:		Buzamiento Veta:		RMR	
Resistencia a la Compresión		ROD		Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		PROGRESIVAS	
Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		15		0		DEL AL OBSERVACIONES	
Punto de Impacto		1- > 200 MPa		1- > 200 MPa		1- No meteorizada		1- No meteorizada		1- No meteorizada		DEL AL OBSERVACIONES	
HD	7	8	10	4	3	3	4	15	-10	44	12 E		OBSERVACIONES
HI	7	8	10	4	3	3	4	15	-10	44			

Orient. Martillo		Numero de Golpes	
-90	0	45	90
HD	x	51	50
HI	x	48	51

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**	
Rumbo perpendicular al eje del túnel	Rumbo paralelo al eje del túnel
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45
Muy favorable	Favorable
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45
Regular	Desfavorable

DISCONTINUIDADES		REP.	
DIR. BUZ.	BUZ.	REP.	OBSERVACIONES
SET 1: 77	88	7	
SET 2: 238	84		
SET 3:			
SET 4:			
SET 5:			
SET 6:			
Falla 1			
Falla 2			
Falla 3			



CAUDALOSA				Sección: Nivel: 4390		Labor: RAMPA 2		Fecha: 14 DE ABRIL 2018		
Región Nº				# Familia de Discontinuidades		Adm. Labor		Condiciones de la Exposición:		
Resistencia a la Compresión				Espaciamiento entre Discontinuidades		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Buzamiento Veta:		
RQD				Persistencia		Meteorización		Rugosidad		
Puro de Mapa				Relleno		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		
HD	12	8	10	4	5	5	4	15	-5	58
HI	7	5	10	4	5	5	4	15	-2	53

Orient. Martillo		Numero de Golpes				P				
-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5	
HD					49	50	51	53	51	50.8
					48	46	45	46	48	46.6
HI					48	46	46	48	45	46.6
					43	48	42	39	40	42.4

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**			
Plumbo perpendicular al eje del túnel		Plumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20° - independiente del rumbo	Regular
Regular	Desfavorable		

DISCONTINUIDADES		REPETICIONES	
DIR	BLZ	BLZ	
SET 1:	9	84	4
SET 2:	199	76	2
SET 3:	142	74	3
SET 4:	240	36	2
SET 5:	231	84	4
SET 6:	38	78	4
Falla 1:	209	48	3
Falla 2:			
Falla 3:			

GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIST. COMP. MPa
1	Disponible con golpes firmes con el punto de martillo de golpeo se desdobra con un cachillo	10-50
2	Se desdobra con dificultad con cachillo. Marcas poco profundas en la roca con golpes firmes del martillo (de punto)	5-25
4	No se raya ni desdobra con cachillo. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo	25-50
7	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50-100
12	Se requieren varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
15	Solo se rompe con golpes de la muestra con el martillo	>250

CAUDALOSA				Sección: Nivel: 4390		Labor: RAMPA 2		Fecha: 14 DE ABRIL 2018		
Región Nº				# Familia de Discontinuidades		Adm. Labor		Condiciones de la Exposición:		
Resistencia a la Compresión				Espaciamiento entre Discontinuidades		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Buzamiento Veta:		
RQD				Persistencia		Meteorización		Rugosidad		
Puro de Mapa				Relleno		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		
HD	12	8	10	4	5	3	4	15	-10	51
HI	12	8	10	4	5	3	4	15	-5	56

Orient. Martillo		Numero de Golpes				P				
-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5	
HD		X			48	45	48	49	50	48
					45	48	46	49	40	45.6
HI		X			48	42	45	48	47	46

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**			
Plumbo perpendicular al eje del túnel		Plumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20° - independiente del rumbo	Regular
Regular	Desfavorable		

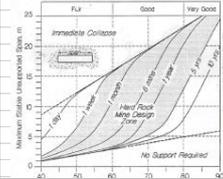
DISCONTINUIDADES		REPETICIONES	
DIR	BLZ	BLZ	
SET 1:	328	88	8
SET 2:	187	32	3
SET 3:	312	72	2
SET 4:	29	84	3
SET 5:	336	86	
SET 6:			
Falla 1:			
Falla 2:			
Falla 3:			

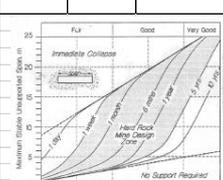
GRADO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIST. COMP. MPa
1	Disponible con golpes firmes con el punto de martillo de golpeo se desdobra con un cachillo	10-50
2	Se desdobra con dificultad con cachillo. Marcas poco profundas en la roca con golpes firmes del martillo (de punto)	5-25
4	No se raya ni desdobra con cachillo. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo	25-50
7	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50-100
12	Se requieren varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250
15	Solo se rompe con golpes de la muestra con el martillo	>250

CAUDALOSA				Sección:		Nivel: 4380		Labor: RAMPA 2	
Refer. Topog.:				Fecha:		13 de abril 2018			
Refer. Litolog.:				Hecho por:					
Registro Nº		Familia de Discontinuidades		Asimut Labor		Condición de la Exposición:			
Espaciamiento entre Discontinuidad		Resistencia a la Compresión		RQD		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Buzamiento Veta:	
Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		Agua Subterránea	
Orientación de Discontinuidades		Rugosidad		Relleno		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades	
Punto de Mapeo	nt	RQD	Espaciamiento entre Discontinuidad		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Buzamiento Veta:		RMR
1. > 200 Mpa	1. > 20	1. > 100%	1. No meteorizada		1. No meteorizada		1. No meteorizada		
2. 100-200 Mpa	2. 10-20	2. 75-100%	2. Ligera meteorización		2. Ligera meteorización		2. Ligera meteorización		
3. 50-100 Mpa	3. 5-10	3. 25-75%	3. Meteorizada		3. Meteorizada		3. Meteorizada		
4. < 50 Mpa	4. < 5	4. < 25%	4. Muy meteorizada		4. Muy meteorizada		4. Muy meteorizada		
5. < 20 Mpa	5. < 2	5. < 10%	5. < 1 mm		5. < 1 mm		5. < 1 mm		
6. < 10 Mpa	6. < 1	6. < 5%	6. < 0.5 mm		6. < 0.5 mm		6. < 0.5 mm		
7. < 5 Mpa	7. < 0.5	7. < 2.5%	7. < 0.2 mm		7. < 0.2 mm		7. < 0.2 mm		
8. < 2.5 Mpa	8. < 0.25	8. < 1.25%	8. < 0.1 mm		8. < 0.1 mm		8. < 0.1 mm		
9. < 1.25 Mpa	9. < 0.125	9. < 0.625%	9. < 0.05 mm		9. < 0.05 mm		9. < 0.05 mm		
10. < 0.625 Mpa	10. < 0.0625	10. < 0.3125%	10. < 0.025 mm		10. < 0.025 mm		10. < 0.025 mm		
11. < 0.3125 Mpa	11. < 0.03125	11. < 0.15625%	11. < 0.0125 mm		11. < 0.0125 mm		11. < 0.0125 mm		
12. < 0.15625 Mpa	12. < 0.015625	12. < 0.078125%	12. < 0.00625 mm		12. < 0.00625 mm		12. < 0.00625 mm		
13. < 0.078125 Mpa	13. < 0.0078125	13. < 0.0390625%	13. < 0.003125 mm		13. < 0.003125 mm		13. < 0.003125 mm		
14. < 0.0390625 Mpa	14. < 0.00390625	14. < 0.01953125%	14. < 0.0015625 mm		14. < 0.0015625 mm		14. < 0.0015625 mm		
15. < 0.01953125 Mpa	15. < 0.001953125	15. < 0.009765625%	15. < 0.00078125 mm		15. < 0.00078125 mm		15. < 0.00078125 mm		
16. < 0.009765625 Mpa	16. < 0.0009765625	16. < 0.0048828125%	16. < 0.000390625 mm		16. < 0.000390625 mm		16. < 0.000390625 mm		
17. < 0.0048828125 Mpa	17. < 0.00048828125	17. < 0.00244140625%	17. < 0.0001953125 mm		17. < 0.0001953125 mm		17. < 0.0001953125 mm		
18. < 0.00244140625 Mpa	18. < 0.000244140625	18. < 0.001220703125%	18. < 0.00009765625 mm		18. < 0.00009765625 mm		18. < 0.00009765625 mm		
19. < 0.001220703125 Mpa	19. < 0.0001220703125	19. < 0.0006103515625%	19. < 0.000048828125 mm		19. < 0.000048828125 mm		19. < 0.000048828125 mm		
20. < 0.0006103515625 Mpa	20. < 0.00006103515625	20. < 0.00030517578125%	20. < 0.0000244140625 mm		20. < 0.0000244140625 mm		20. < 0.0000244140625 mm		
21. < 0.00030517578125 Mpa	21. < 0.000030517578125	21. < 0.000152587890625%	21. < 0.00001220703125 mm		21. < 0.00001220703125 mm		21. < 0.00001220703125 mm		
22. < 0.000152587890625 Mpa	22. < 0.0000152587890625	22. < 0.0000762939453125%	22. < 0.000006103515625 mm		22. < 0.000006103515625 mm		22. < 0.000006103515625 mm		
23. < 0.0000762939453125 Mpa	23. < 0.00000762939453125	23. < 0.00003814697265625%	23. < 0.0000030517578125 mm		23. < 0.0000030517578125 mm		23. < 0.0000030517578125 mm		
24. < 0.00003814697265625 Mpa	24. < 0.000003814697265625	24. < 0.000019073486328125%	24. < 0.00000152587890625 mm		24. < 0.00000152587890625 mm		24. < 0.00000152587890625 mm		
25. < 0.000019073486328125 Mpa	25. < 0.0000019073486328125	25. < 0.0000095367431640625%	25. < 0.000000762939453125 mm		25. < 0.000000762939453125 mm		25. < 0.000000762939453125 mm		
26. < 0.0000095367431640625 Mpa	26. < 0.00000095367431640625	26. < 0.00000476837158203125%	26. < 0.0000003814697265625 mm		26. < 0.0000003814697265625 mm		26. < 0.0000003814697265625 mm		
27. < 0.00000476837158203125 Mpa	27. < 0.000000476837158203125	27. < 0.000002384185791015625%	27. < 0.00000019073486328125 mm		27. < 0.00000019073486328125 mm		27. < 0.00000019073486328125 mm		
28. < 0.000002384185791015625 Mpa	28. < 0.0000002384185791015625	28. < 0.0000011920928955078125%	28. < 0.00000011920928955078125 mm		28. < 0.00000011920928955078125 mm		28. < 0.00000011920928955078125 mm		
29. < 0.0000011920928955078125 Mpa	29. < 0.00000011920928955078125	29. < 0.00000059604644775390625%	29. < 0.000000059604644775390625 mm		29. < 0.000000059604644775390625 mm		29. < 0.000000059604644775390625 mm		
30. < 0.00000059604644775390625 Mpa	30. < 0.000000059604644775390625	30. < 0.000000298023223876953125%	30. < 0.0000000298023223876953125 mm		30. < 0.0000000298023223876953125 mm		30. < 0.0000000298023223876953125 mm		
31. < 0.000000298023223876953125 Mpa	31. < 0.0000000298023223876953125	31. < 0.0000001490116119384765625%	31. < 0.00000001490116119384765625 mm		31. < 0.00000001490116119384765625 mm		31. < 0.00000001490116119384765625 mm		
32. < 0.0000001490116119384765625 Mpa	32. < 0.00000001490116119384765625	32. < 0.00000007450580596923828125%	32. < 0.000000007450580596923828125 mm		32. < 0.000000007450580596923828125 mm		32. < 0.000000007450580596923828125 mm		
33. < 0.00000007450580596923828125 Mpa	33. < 0.000000007450580596923828125	33. < 0.000000037252902984619140625%	33. < 0.0000000037252902984619140625 mm		33. < 0.0000000037252902984619140625 mm		33. < 0.0000000037252902984619140625 mm		
34. < 0.000000037252902984619140625 Mpa	34. < 0.0000000037252902984619140625	34. < 0.0000000186264514923095703125%	34. < 0.00000000186264514923095703125 mm		34. < 0.00000000186264514923095703125 mm		34. < 0.00000000186264514923095703125 mm		
35. < 0.0000000186264514923095703125 Mpa	35. < 0.00000000186264514923095703125	35. < 0.00000000931322574615478515625%	35. < 0.000000000931322574615478515625 mm		35. < 0.000000000931322574615478515625 mm		35. < 0.000000000931322574615478515625 mm		
36. < 0.00000000931322574615478515625 Mpa	36. < 0.000000000931322574615478515625	36. < 0.00000000465661287307739278125%	36. < 0.000000000465661287307739278125 mm		36. < 0.000000000465661287307739278125 mm		36. < 0.000000000465661287307739278125 mm		
37. < 0.00000000465661287307739278125 Mpa	37. < 0.000000000465661287307739278125	37. < 0.000000002328306436538696390625%	37. < 0.0000000002328306436538696390625 mm		37. < 0.0000000002328306436538696390625 mm		37. < 0.0000000002328306436538696390625 mm		
38. < 0.000000002328306436538696390625 Mpa	38. < 0.0000000002328306436538696390625	38. < 0.0000000011641532182693481953125%	38. < 0.00000000011641532182693481953125 mm		38. < 0.00000000011641532182693481953125 mm		38. < 0.00000000011641532182693481953125 mm		
39. < 0.0000000011641532182693481953125 Mpa	39. < 0.00000000011641532182693481953125	39. < 0.00000000058207660913467409765625%	39. < 0.000000000058207660913467409765625 mm		39. < 0.000000000058207660913467409765625 mm		39. < 0.000000000058207660913467409765625 mm		
40. < 0.00000000058207660913467409765625 Mpa	40. < 0.000000000058207660913467409765625	40. < 0.000000000291038304567337448828125%	40. < 0.0000000000291038304567337448828125 mm		40. < 0.0000000000291038304567337448828125 mm		40. < 0.0000000000291038304567337448828125 mm		
41. < 0.000000000291038304567337448828125 Mpa	41. < 0.0000000000291038304567337448828125	41. < 0.0000000001455191522836687244140625%	41. < 0.00000000001455191522836687244140625 mm		41. < 0.00000000001455191522836687244140625 mm		41. < 0.00000000001455191522836687244140625 mm		
42. < 0.0000000001455191522836687244140625 Mpa	42. < 0.00000000001455191522836687244140625	42. < 0.00000000007275957614183437220703125%	42. < 0.000000000007275957614183437220703125 mm		42. < 0.000000000007275957614183437220703125 mm		42. < 0.000000000007275957614183437220703125 mm		
43. < 0.00000000007275957614183437220703125 Mpa	43. < 0.000000000007275957614183437220703125	43. < 0.0000000000363797880709171858963125%	43. < 0.00000000000363797880709171858963125 mm		43. < 0.00000000000363797880709171858963125 mm		43. < 0.00000000000363797880709171858963125 mm		
44. < 0.0000000000363797880709171858963125 Mpa	44. < 0.00000000000363797880709171858963125	44. < 0.000000000018189894035458592928125%	44. < 0.0000000000018189894035458592928125 mm		44. < 0.0000000000018189894035458592928125 mm		44. < 0.0000000000018189894035458592928125 mm		
45. < 0.000000000018189894035458592928125 Mpa	45. < 0.0000000000018189894035458592928125	45. < 0.0000000000090949470177292964640625%	45. < 0.00000000000090949470177292964640625 mm		45. < 0.00000000000090949470177292964640625 mm		45. < 0.00000000000090949470177292964640625 mm		
46. < 0.0000000000090949470177292964640625 Mpa	46. < 0.00000000000090949470177292964640625	46. < 0.00000000000454747350886482323015625%	46. < 0.000000000000454747350886482323015625 mm		46. < 0.000000000000454747350886482323015625 mm		46. < 0.000000000000454747350886482323015625 mm		
47. < 0.00000000000454747350886482323015625 Mpa	47. < 0.000000000000454747350886482323015625	47. < 0.0000000000022737367544324116153125%	47. < 0.00000000000022737367544324116153125 mm		47. < 0.00000000000022737367544324116153125 mm		47. < 0.00000000000022737367544324116153125 mm		
48. < 0.0000000000022737367544324116153125 Mpa	48. < 0.00000000000022737367544324116153125	48. < 0.00000000000113686837721620580765625%	48. < 0.000000000000113686837721620580765625 mm		48. < 0.000000000000113686837721620580765625 mm		48. < 0.000000000000113686837721620580765625 mm		
49. < 0.00000000000113686837721620580765625 Mpa	49. < 0.000000000000113686837721620580765625	49. < 0.000000000000568434188608102903828125%	49. < 0.000000000000568434188608102903828125 mm		49. < 0.000000000000568434188608102903828125 mm		49. < 0.000000000000568434188608102903828125 mm		
50. < 0.000000000000568434188608102903828125 Mpa	50. < 0.000000000000568434188608102903828125	50. < 0.0000000000002842170943040514519140625%	50. < 0.0000000000002842170943040514519140625 mm		50. < 0.0000000000002842170943040514519140625 mm		50. < 0.0000000000002842170943040514519140625 mm		
51. < 0.0000000000002842170943040514519140625 Mpa	51. < 0.0000000000002842170943040514519140625	51. < 0.00000000000014210854715202572595703125%	51. < 0.00000000000014210854715202572595703125 mm		51. < 0.00000000000014210854715202572595703125 mm		51. < 0.00000000000014210854715202572595703125 mm		
52. < 0.00000000000014210854715202572595703125 Mpa	52. < 0.00000000000014210854715202572595703125	52. < 0.000000000000071054273576012872978515625%	52. < 0.000000000000071054273576012872978515625 mm		52. < 0.000000000000071054273576012872978515625 mm		52. < 0.000000000000071054273576012872978515625 mm		
53. < 0.000000000000071054273576012872978515625 Mpa	53. < 0.								

CAUDALOSA				Sección:	Nivel: 4380	Labor:	RAMPA 2	CLASIFICACION DEL MACIZO					
				Refer. Topog:		Fecha:	7 DE ABRIL 2018	ROCOSO RMR					
				Litología:		Hecho por:		RMR DESCRIPCION					
Región N°				# Familia de Discontinuidades	Admut Labor			CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					
				Dimensión de la Labor:			Buzamiento Veta:						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			Agua Subterránea						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			Orientación de Discontinuidades						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			RMR						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			PROGRESIVAS						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			DEL AL OBSERVACIONES						
Plan de Mapa	etc	ROD	Espaciamiento entre discontinuidades	Persistencia	Meteorización	Rugosidad	Relleno	Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR			
1- > 250 Mpa 2- 200-250 Mpa 3- 150-200 Mpa 4- 50-150 Mpa 5- < 50 Mpa	1- > 100% 2- 75-100% 3- 50-75% 4- 25-50% 5- < 25%	1- > 2 m 2- 0.65-2 m 3- 0.2-0.65 m 4- 0.02-0.2 m 5- < 0.02 m	1- > 4 m 2- 3-4 m 3- 2-3 m 4- 1-2 m 5- > 20 m	1- No meteorizada 2- Ligera meteorización 3- Moderada meteorización 4- Alta meteorización 5- Muy alta meteorización	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligera rugosidad 4- Lija 5- Muy lisa	1- Ninguno 2- Relleno fino < 5mm 3- Relleno fino > 5mm 4- Relleno blando 5- Relleno blando arenoso	1- Compensante 2- Hinchado 3- Mojado 4- Hinchado	1- Muy favorable 2- Favorable 3- Regular 4- Desfavorable 5- Muy desfavorable	1- 1-30 2- 20-30 3- 10-20 4- 5-10 5- 0-5	1- 90 2- 75 3- 60 4- 45 5- 30	31-100	MUY BUENA "A"	
CT	7	8	6	5	3	3	1	15	-10	36			
M	4	5	5	6	3	3	4	10	-12	28			
CP	4	5	8	5	3	3	1	10	-5	34			
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA													
Martillo Schmidt													
Orient. Martillo													
Numero de Golpes													
CT	-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5			
			x										
CP						30	32	38	38	30	33.6		
Efecto de la orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades en la perforación de túneles													
DISCONTINUIDADES													
REPETICIONES													
OBSERVACIONES													
GRADO													
INDICE DE PERENTENCIAS													
IDENTIFICACION DE CAMPO													
RANGO RES. COMP. MPa													
1	Dificultad con golpes firmes con la parte de martillo de golpeo se desordena con una ocurrencia										10-15		
2	Se desordena con dificultad con ocurrencia. Marcas poco profundas en la roca con golpes firmes del martillo (de punto)										5-25		
4	No se registró desorden con ocurrencia. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo										25-50		
1	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo										50-100		
12	Se registran varios golpes de martillo para romper la muestra										100-250		
15	Solo se rompe con golpes de la muestra con el martillo										> 250		



CAUDALOSA				Sección:	Nivel: 4380	Labor:	RAMPA 2	CLASIFICACION DEL MACIZO					
				Refer. Topog:		Fecha:	15 DE ABRIL 2018	ROCOSO RMR					
				Litología:		Hecho por:		RMR DESCRIPCION					
Región N°				# Familia de Discontinuidades	Admut Labor			CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES					
				Dimensión de la Labor:			Buzamiento Veta:						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			Agua Subterránea						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			Orientación de Discontinuidades						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			RMR						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			PROGRESIVAS						
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES			DEL AL OBSERVACIONES						
Plan de Mapa	etc	ROD	Espaciamiento entre discontinuidades	Persistencia	Meteorización	Rugosidad	Relleno	Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR			
1- > 250 Mpa 2- 200-250 Mpa 3- 150-200 Mpa 4- 50-150 Mpa 5- < 50 Mpa	1- > 100% 2- 75-100% 3- 50-75% 4- 25-50% 5- < 25%	1- > 2 m 2- 0.65-2 m 3- 0.2-0.65 m 4- 0.02-0.2 m 5- < 0.02 m	1- > 4 m 2- 3-4 m 3- 2-3 m 4- 1-2 m 5- > 20 m	1- No meteorizada 2- Ligera meteorización 3- Moderada meteorización 4- Alta meteorización 5- Muy alta meteorización	1- Muy rugoso 2- Rugoso 3- Ligera rugosidad 4- Lija 5- Muy lisa	1- Ninguno 2- Relleno fino < 5mm 3- Relleno fino > 5mm 4- Relleno blando 5- Relleno blando arenoso	1- Compensante 2- Hinchado 3- Mojado 4- Hinchado	1- Muy favorable 2- Favorable 3- Regular 4- Desfavorable 5- Muy desfavorable	1- 1-30 2- 20-30 3- 10-20 4- 5-10 5- 0-5	1- 90 2- 75 3- 60 4- 45 5- 30	91-100	MUY BUENA "A"	
HD	7	5	10	4	3	3	4	10	-5	41			
HI	7	8	10	4	3	3	4	15	-5	49			
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA													
Martillo Schmidt													
Orient. Martillo													
Numero de Golpes													
HD	-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5			
			x			40	39	38	40	37	38.8		
						38	34	34	34	34	34.8		
HI						42	48	38	34	38	40		
						42	42	40	38	38	40		
Efecto de la orientación de rumbo y buzamiento de las discontinuidades en la perforación de túneles													
DISCONTINUIDADES													
REPETICIONES													
OBSERVACIONES													
GRADO													
INDICE DE PERENTENCIAS													
IDENTIFICACION DE CAMPO													
RANGO RES. COMP. MPa													
1	Dificultad con golpes firmes con la parte de martillo de golpeo se desordena con una ocurrencia										10-15		
2	Se desordena con dificultad con ocurrencia. Marcas poco profundas en la roca con golpes firmes del martillo (de punto)										5-25		
4	No se registró desorden con ocurrencia. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo										25-50		
1	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo										50-100		
12	Se registran varios golpes de martillo para romper la muestra										100-250		
15	Solo se rompe con golpes de la muestra con el martillo										> 250		







CAUDALOSA				Sección:		Nivel: 4380		Labor:					
Registro Nº 02				Refer. Topog.:		Fecha: 30-jun-18		Hecho por:					
# Familia de Discontinuidades				Adm. Labor		Condición de la Exposición:							
Dimensión de la Labor:													
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES													
Buzamiento Veta:													
RMR													
CLASIFICACION DEL MACIZO													
ESCALA DE RESISTENCIA DEL MACIZO													
PROGRESIVAS													
DEL AL OBSERVACIONES													
HD	7	10	8	4	5	1	1	15	-2	49	20	28	20-25, cuadros 1x1 mtr
HI	7	10	8	4	5	1	1	15	-2	49	22	35	25-35 sin sostener.

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA												
Martillo Schmidt												
Orient. Martillo												
Numero de Golpes												
P												
HD	-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5	42	42.8
HI			X			42	42	45	40	41	42	0

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo	Regular
Regular	Desfavorable		

DISCONTINUIDADES			
DIR. BUZ.		BUZ.	
SET 1:	245	85	18
SET 2:	245	85	12
SET 3:			
SET 4:			
SET 5:			
SET 6:			
Falla 1:			
Falla 2:			
Falla 3:			

OBSERVACIONES			
GRUPO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa	
1	Delatada con golpes finos con la punta de martillo de golpe a descargas con una ocurrencia	10-10	
2	Se descargó con dificultad con ocurrencia. Marca poco profunda en la roca con golpes finos del martillo (6 puntas)	5-25	
4	No se registra descargas con ocurrencia. La muestra se rompió con golpes finos del martillo	25-50	
7	La muestra se rompió con más de un golpe del martillo	50-100	
12	Se registra: varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250	
15	Solo se rompió después de la muestra con el martillo	>250	

CAUDALOSA				Sección:		Nivel: 4380		Labor:					
Registro Nº 03				Refer. Topog.:		Fecha: 30-jun-18		Hecho por:					
# Familia de Discontinuidades				Adm. Labor		Condición de la Exposición:							
Dimensión de la Labor:													
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES													
Buzamiento Veta:													
RMR													
CLASIFICACION DEL MACIZO													
ESCALA DE RESISTENCIA DEL MACIZO													
PROGRESIVAS													
DEL AL OBSERVACIONES													
HD	7	10	10	4	5	3	6	15	-2	58	38	38	cuadros de madera mas tolva.
HI	7	10	10	4	5	3	6	15	-2	58	38	45	

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA												
Martillo Schmidt												
Orient. Martillo												
Numero de Golpes												
P												
HD	-90	-45	0	45	90	1	2	3	4	5	0	0
HI			X								0	0

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo	Regular
Regular	Desfavorable		

DISCONTINUIDADES			
DIR. BUZ.		BUZ.	
SET 1:			
SET 2:			
SET 3:			
SET 4:			
SET 5:			
SET 6:			
Falla 1:			
Falla 2:			
Falla 3:			

OBSERVACIONES			
GRUPO	INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO	RANGO RESIS. COMP. Mpa	
1	Delatada con golpes finos con la punta de martillo de golpe a descargas con una ocurrencia	10-10	
2	Se descargó con dificultad con ocurrencia. Marca poco profunda en la roca con golpes finos del martillo (6 puntas)	5-25	
4	No se registra descargas con ocurrencia. La muestra se rompió con golpes finos del martillo	25-50	
7	La muestra se rompió con más de un golpe del martillo	50-100	
12	Se registra: varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250	
15	Solo se rompió después de la muestra con el martillo	>250	

CAUDALOSA				Sección:	Nivel: 4380	Labor:	CLASIFICACION DEL MACIZO				
Registro N° 04				Refer. Topog.:	Fecha:	Rocoso RMR		ESTIMACION DEL RANGO			
# Familia de				Litología:	Hecho por:	RMR DESCRIPCION		PROGRESIVAS			
Discontinuidades				Condición de la Exposición:			DEL AL OBSERVACIONES				
Dimensión de la Labor:				Buzamiento Veta:			RMR				
Val	Parametro	nc	ROD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES				Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR
					Persistencia	Meteorización	Rugosidad	Relleno			
10	15	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HD	7	10	8	4	5	1	1	15	-2	49	
HI	7	10	8	4	6	5	4	15	-2	57	
HD	7	15	10	4	6	5	6	15	-5	63	
HI	7	8	8	4	5	3	4	15	-2	52	

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA		Martillo Schmidt					P
		Orient. Martillo			Numero de Golpes		
		-90	-45	0	45	90	1
HD		X				40	46
						42	40
HI		X				45	41
						40	42
						41	41.8

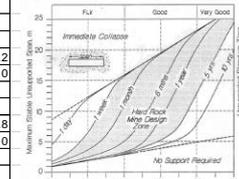
EFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES*			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo	
Regular	Desfavorable	Regular	

DISCONTINUIDADES		REP	OBSERVACIONES
DIR.	BUZ.		
SET 1:	N235	58S	1
SET 2:	N235	70N	10
SET 3:			
SET 4:			
SET 5:			
SET 6:			
Falla 1:			
Falla 2:	N300	35	
Falla 3:	N300	45	

INDICE DE RESISTENCIAS		RANGO RESC
IDENTIFICACION DE CAMPO		COMP. MPa
1	Debitada con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo es de acuerdo con sus ocultos.	10-15
2	Se delectada con dificultad con oculto. Marcar poco profunda en la roca con golpe firme del martillo (de punta).	5-25
4	No se respie si delectada con oculto. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo.	25-50
7	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50-100
12	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.	100-250
15	Se debe ser capaz de romper la muestra con el martillo.	>250



CAUDALOSA				Sección:	Nivel: 4380	Labor:	CLASIFICACION DEL MACIZO				
Registro N° 05				Refer. Topog.:	Fecha:	Rocoso RMR		ESTIMACION DEL RANGO			
# Familia de				Litología:	Hecho por:	RMR DESCRIPCION		PROGRESIVAS			
Discontinuidades				Condición de la Exposición:			DEL AL OBSERVACIONES				
Dimensión de la Labor:				Buzamiento Veta:			RMR				
Val	Parametro	nc	ROD	Espaciamiento entre Discontinuidad	CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES				Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades	RMR
					Persistencia	Meteorización	Rugosidad	Relleno			
10	15	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HD	7	10	8	4	6	3	6	15	-2	57	
HI	7	10	8	4	6	3	6	15	-2	57	
HD	7	10	8	4	6	3	6	15	-2	57	
HI	7	10	8	4	6	3	6	15	-2	57	

CROQUIS LATERAL O EN PLANTA		Martillo Schmidt					P
		Orient. Martillo			Numero de Golpes		
		-90	-45	0	45	90	1
HD		X				46	42
						41	40
HI		X				38	41
						42	40
						41	40.4

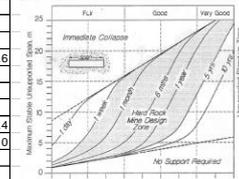
EFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES*			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo	
Regular	Desfavorable	Regular	

DISCONTINUIDADES		REP	OBSERVACIONES
DIR.	BUZ.		
SET 1:	N10	78	7
SET 2:			
SET 3:			
SET 4:			
SET 5:			
SET 6:			
Falla 1:			
Falla 2:			
Falla 3:			

INDICE DE RESISTENCIAS		RANGO RESC
IDENTIFICACION DE CAMPO		COMP. MPa
1	Debitada con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo es de acuerdo con sus ocultos.	10-15
2	Se delectada con dificultad con oculto. Marcar poco profunda en la roca con golpe firme del martillo (de punta).	5-25
4	No se respie si delectada con oculto. La muestra se rompe con golpes firmes del martillo.	25-50
7	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo.	50-100
12	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra.	100-250
15	Se debe ser capaz de romper la muestra con el martillo.	>250



## **ANEXO 2**

# **MAPEO GEOMECANICO EN EXCAVACIONES TEMPORALES**



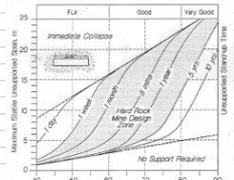
CAUDALOSA										Sección:		Nivel: SN 4430		Labor: Tajo 200E GI 122 E		CLASIFICACION DEL MACIZO																					
CAUDALOSA										Refer. Topog.:		Fecha:		22 de febrero 2018		ROCCO RMR																					
CAUDALOSA										Litología:		Hecho por:																									
CAUDALOSA										Condiciones de la Exposición:		Buzamiento Veta:																									
CAUDALOSA										Dimensión de la Labor:																											
CAUDALOSA										CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES																											
CAUDALOSA										Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades																	
CAUDALOSA										RMR																											
CAUDALOSA										DEL		AL		OBSERVACIONES																							
Registro N°										Espaciamiento entre discontinuidades		RMR																									
Punto de Mapeo										Resistencia a la Compresión		RQD		RMR																							
CT										12		8		20		6		5		3		2		10		0		66									
CP										7		10		20		6		5		3		2		10		0		63									
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA										Martillo Schmidt																											
										Orient. Martillo										Numero de Golpes																	
										-90 -45 0 45 90										1 2 3 4 5																	
HD										X										0																	
HI										X										0																	
EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**										DISCONTINUIDADES										REF.																	
Rumbo perpendicular al eje del túnel										DIR. BUZ										OBSERVACIONES																	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-30										Buzamiento 45-90										Buzamiento 20-45																	
Muy favorable										Favorable										Muy desfavorable																	
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-30										Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45										Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo																	
Regular										Destavorable										Regular																	
GRADO										INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO										RANGO RESIST. COMP. Mpa																	
1										Delimitado con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmenuza con una ocurrencia										10-15																	
2										Se desmenuza con dificultad con ocurrencia. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)										5-25																	
4										No se rompe el desmenuza con ocurrencia. La muestra se rompe con golpe firme del martillo										25-50																	
7										La muestra se rompe con más de un golpe del martillo										50-100																	
12										Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra										100-250																	
15										Solo se rompe con fuerza de la muestra con el martillo										>250																	

CAUDALOSA										Sección:		Nivel: 4330		Labor: Gal 569 E-TAJO 639		CLASIFICACION DEL MACIZO																					
CAUDALOSA										Refer. Topog.:		Fecha:		23 DE FEBRERO 2018		ROCCO RMR																					
CAUDALOSA										Litología:		Hecho por:																									
CAUDALOSA										Condiciones de la Exposición:		Buzamiento Veta:																									
CAUDALOSA										Dimensión de la Labor:																											
CAUDALOSA										CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES																											
CAUDALOSA										Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades																	
CAUDALOSA										RMR																											
CAUDALOSA										DEL		AL		OBSERVACIONES																							
Registro N°										Espaciamiento entre discontinuidades		RMR																									
Punto de Mapeo										Resistencia a la Compresión		RQD		RMR																							
CT										7		10		20		6		5		5		1		10		-10		54									
CP										12		10		20		6		5		5		1		7		-12		54									
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA										Martillo Schmidt																											
										Orient. Martillo										Numero de Golpes																	
										-90 -45 0 45 90										1 2 3 4 5																	
HD										X										0																	
HI										X										0																	
EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**										DISCONTINUIDADES										REF.																	
Rumbo perpendicular al eje del túnel										DIR. BUZ										OBSERVACIONES																	
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-30										Buzamiento 45-90										Buzamiento 20-45																	
Muy favorable										Favorable										Muy desfavorable																	
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-30										Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45										Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo																	
Regular										Destavorable										Regular																	
GRADO										INDICE DE RESISTENCIAS IDENTIFICACION DE CAMPO										RANGO RESIST. COMP. Mpa																	
1										Delimitado con golpes firmes con la punta de martillo de geólogo se desmenuza con una ocurrencia										10-15																	
2										Se desmenuza con dificultad con ocurrencia. Marcas poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (de punta)										5-25																	
4										No se rompe el desmenuza con ocurrencia. La muestra se rompe con golpe firme del martillo										25-50																	
7										La muestra se rompe con más de un golpe del martillo										50-100																	
12										Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra										100-250																	
15										Solo se rompe con fuerza de la muestra con el martillo										>250																	

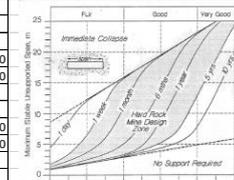


CAUDALOSA COMARSA MINERA				Sección:	Nivel:	Labor: Tajo 850	CLASIFICACION DEL MACIZO					
				Refer. Topog.:	Fecha:	17 de febrero 2018	ESQUEMA DE CLASIFICACION DEL MACIZO RMR = 70 - 2.5 * (Σ 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 + 11 + 12)					
				Litología:	Hecho por:		POCOSO RMR					
Registro N°				# Familia de Discontinuidades	Azmut Labor	Condición de la Exposición:						
				Dimensión de la Labor:			Buzamiento Veta:					
				CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES						RMR		
				Persistencia	Meteorización	Rugosidad	Reflejo	Agua Subterránea	Orientación de Discontinuidades			
				1- > 10 m	1- No meteorizada	1- Muy rugosa	1- Ninguna	1- Comprometida	1- Muy favorable			
				2- 10-20 m	2- Moderadamente meteorizada	2- Rugosa	2- Rara	2- No comprometida	2- Regular			
				3- 20-30 m	3- Muy meteorizada	3- Ligera y regular	3- Relativa a 0-5mm	3- No comprometida	3- Regular			
				4- 30-40 m	4- Muy meteorizada	4- Regular	4- Relativa a 5-10mm	4- No comprometida	4- Regular			
				5- > 40 m	5- Muy meteorizada	5- Muy lisa	5- Relativa a 10-15mm	5- No comprometida	5- Muy desfavorable			
				6- > 40 m	6- Muy meteorizada	6- Muy lisa	6- Relativa a 15-20mm	6- No comprometida	6- Muy desfavorable			
				7- > 40 m	7- Muy meteorizada	7- Muy lisa	7- Relativa a 20-25mm	7- No comprometida	7- Muy desfavorable			
				8- > 40 m	8- Muy meteorizada	8- Muy lisa	8- Relativa a 25-30mm	8- No comprometida	8- Muy desfavorable			
				9- > 40 m	9- Muy meteorizada	9- Muy lisa	9- Relativa a 30-35mm	9- No comprometida	9- Muy desfavorable			
				10- > 40 m	10- Muy meteorizada	10- Muy lisa	10- Relativa a 35-40mm	10- No comprometida	10- Muy desfavorable			
				11- > 40 m	11- Muy meteorizada	11- Muy lisa	11- Relativa a 40-45mm	11- No comprometida	11- Muy desfavorable			
				12- > 40 m	12- Muy meteorizada	12- Muy lisa	12- Relativa a 45-50mm	12- No comprometida	12- Muy desfavorable			
				13- > 40 m	13- Muy meteorizada	13- Muy lisa	13- Relativa a 50-55mm	13- No comprometida	13- Muy desfavorable			
				14- > 40 m	14- Muy meteorizada	14- Muy lisa	14- Relativa a 55-60mm	14- No comprometida	14- Muy desfavorable			
				15- > 40 m	15- Muy meteorizada	15- Muy lisa	15- Relativa a 60-65mm	15- No comprometida	15- Muy desfavorable			
				16- > 40 m	16- Muy meteorizada	16- Muy lisa	16- Relativa a 65-70mm	16- No comprometida	16- Muy desfavorable			
				17- > 40 m	17- Muy meteorizada	17- Muy lisa	17- Relativa a 70-75mm	17- No comprometida	17- Muy desfavorable			
				18- > 40 m	18- Muy meteorizada	18- Muy lisa	18- Relativa a 75-80mm	18- No comprometida	18- Muy desfavorable			
				19- > 40 m	19- Muy meteorizada	19- Muy lisa	19- Relativa a 80-85mm	19- No comprometida	19- Muy desfavorable			
				20- > 40 m	20- Muy meteorizada	20- Muy lisa	20- Relativa a 85-90mm	20- No comprometida	20- Muy desfavorable			
				21- > 40 m	21- Muy meteorizada	21- Muy lisa	21- Relativa a 90-95mm	21- No comprometida	21- Muy desfavorable			
				22- > 40 m	22- Muy meteorizada	22- Muy lisa	22- Relativa a 95-100mm	22- No comprometida	22- Muy desfavorable			
				23- > 40 m	23- Muy meteorizada	23- Muy lisa	23- Relativa a 100-105mm	23- No comprometida	23- Muy desfavorable			
				24- > 40 m	24- Muy meteorizada	24- Muy lisa	24- Relativa a 105-110mm	24- No comprometida	24- Muy desfavorable			
				25- > 40 m	25- Muy meteorizada	25- Muy lisa	25- Relativa a 110-115mm	25- No comprometida	25- Muy desfavorable			
				26- > 40 m	26- Muy meteorizada	26- Muy lisa	26- Relativa a 115-120mm	26- No comprometida	26- Muy desfavorable			
				27- > 40 m	27- Muy meteorizada	27- Muy lisa	27- Relativa a 120-125mm	27- No comprometida	27- Muy desfavorable			
				28- > 40 m	28- Muy meteorizada	28- Muy lisa	28- Relativa a 125-130mm	28- No comprometida	28- Muy desfavorable			
				29- > 40 m	29- Muy meteorizada	29- Muy lisa	29- Relativa a 130-135mm	29- No comprometida	29- Muy desfavorable			
				30- > 40 m	30- Muy meteorizada	30- Muy lisa	30- Relativa a 135-140mm	30- No comprometida	30- Muy desfavorable			
				31- > 40 m	31- Muy meteorizada	31- Muy lisa	31- Relativa a 140-145mm	31- No comprometida	31- Muy desfavorable			
				32- > 40 m	32- Muy meteorizada	32- Muy lisa	32- Relativa a 145-150mm	32- No comprometida	32- Muy desfavorable			
				33- > 40 m	33- Muy meteorizada	33- Muy lisa	33- Relativa a 150-155mm	33- No comprometida	33- Muy desfavorable			
				34- > 40 m	34- Muy meteorizada	34- Muy lisa	34- Relativa a 155-160mm	34- No comprometida	34- Muy desfavorable			
				35- > 40 m	35- Muy meteorizada	35- Muy lisa	35- Relativa a 160-165mm	35- No comprometida	35- Muy desfavorable			
				36- > 40 m	36- Muy meteorizada	36- Muy lisa	36- Relativa a 165-170mm	36- No comprometida	36- Muy desfavorable			
				37- > 40 m	37- Muy meteorizada	37- Muy lisa	37- Relativa a 170-175mm	37- No comprometida	37- Muy desfavorable			
				38- > 40 m	38- Muy meteorizada	38- Muy lisa	38- Relativa a 175-180mm	38- No comprometida	38- Muy desfavorable			
				39- > 40 m	39- Muy meteorizada	39- Muy lisa	39- Relativa a 180-185mm	39- No comprometida	39- Muy desfavorable			
				40- > 40 m	40- Muy meteorizada	40- Muy lisa	40- Relativa a 185-190mm	40- No comprometida	40- Muy desfavorable			
				41- > 40 m	41- Muy meteorizada	41- Muy lisa	41- Relativa a 190-195mm	41- No comprometida	41- Muy desfavorable			
				42- > 40 m	42- Muy meteorizada	42- Muy lisa	42- Relativa a 195-200mm	42- No comprometida	42- Muy desfavorable			
				43- > 40 m	43- Muy meteorizada	43- Muy lisa	43- Relativa a 200-205mm	43- No comprometida	43- Muy desfavorable			
				44- > 40 m	44- Muy meteorizada	44- Muy lisa	44- Relativa a 205-210mm	44- No comprometida	44- Muy desfavorable			
				45- > 40 m	45- Muy meteorizada	45- Muy lisa	45- Relativa a 210-215mm	45- No comprometida	45- Muy desfavorable			
				46- > 40 m	46- Muy meteorizada	46- Muy lisa	46- Relativa a 215-220mm	46- No comprometida	46- Muy desfavorable			
				47- > 40 m	47- Muy meteorizada	47- Muy lisa	47- Relativa a 220-225mm	47- No comprometida	47- Muy desfavorable			
				48- > 40 m	48- Muy meteorizada	48- Muy lisa	48- Relativa a 225-230mm	48- No comprometida	48- Muy desfavorable			
				49- > 40 m	49- Muy meteorizada	49- Muy lisa	49- Relativa a 230-235mm	49- No comprometida	49- Muy desfavorable			
				50- > 40 m	50- Muy meteorizada	50- Muy lisa	50- Relativa a 235-240mm	50- No comprometida	50- Muy desfavorable			
				51- > 40 m	51- Muy meteorizada	51- Muy lisa	51- Relativa a 240-245mm	51- No comprometida	51- Muy desfavorable			
				52- > 40 m	52- Muy meteorizada	52- Muy lisa	52- Relativa a 245-250mm	52- No comprometida	52- Muy desfavorable			
				53- > 40 m	53- Muy meteorizada	53- Muy lisa	53- Relativa a 250-255mm	53- No comprometida	53- Muy desfavorable			
				54- > 40 m	54- Muy meteorizada	54- Muy lisa	54- Relativa a 255-260mm	54- No comprometida	54- Muy desfavorable			
				55- > 40 m	55- Muy meteorizada	55- Muy lisa	55- Relativa a 260-265mm	55- No comprometida	55- Muy desfavorable			
				56- > 40 m	56- Muy meteorizada	56- Muy lisa	56- Relativa a 265-270mm	56- No comprometida	56- Muy desfavorable			
				57- > 40 m	57- Muy meteorizada	57- Muy lisa	57- Relativa a 270-275mm	57- No comprometida	57- Muy desfavorable			
				58- > 40 m	58- Muy meteorizada	58- Muy lisa	58- Relativa a 275-280mm	58- No comprometida	58- Muy desfavorable			
				59- > 40 m	59- Muy meteorizada	59- Muy lisa	59- Relativa a 280-285mm	59- No comprometida	59- Muy desfavorable			
				60- > 40 m	60- Muy meteorizada	60- Muy lisa	60- Relativa a 285-290mm	60- No comprometida	60- Muy desfavorable			
				61- > 40 m	61- Muy meteorizada	61- Muy lisa	61- Relativa a 290-295mm	61- No comprometida	61- Muy desfavorable			
				62- > 40 m	62- Muy meteorizada	62- Muy lisa	62- Relativa a 295-300mm	62- No comprometida	62- Muy desfavorable			
				63- > 40 m	63- Muy meteorizada	63- Muy lisa	63- Relativa a 300-305mm	63- No comprometida	63- Muy desfavorable			
				64- > 40 m	64- Muy meteorizada	64- Muy lisa	64- Relativa a 305-310mm	64- No comprometida	64- Muy desfavorable			
				65- > 40 m	65- Muy meteorizada	65- Muy lisa	65- Relativa a 310-315mm	65- No comprometida	65- Muy desfavorable			
				66- > 40 m	66- Muy meteorizada	66- Muy lisa	66- Relativa a 315-320mm	66- No comprometida	66- Muy desfavorable			
				67- > 40 m	67- Muy meteorizada	67- Muy lisa	67- Relativa a 320-325mm	67- No comprometida	67- Muy desfavorable			
				68- > 40 m	68- Muy meteorizada	68- Muy lisa	68- Relativa a 325-330mm	68- No comprometida	68- Muy desfavorable			
				69- > 40 m	69- Muy meteorizada	69- Muy lisa	69- Relativa a 330-335mm	69- No comprometida	69- Muy desfavorable			
				70- > 40 m	70- Muy meteorizada	70- Muy lisa	70- Relativa a 335-340mm	70- No comprometida	70- Muy desfavorable			
				71- > 40 m	71- Muy meteorizada	71- Muy lisa	71- Relativa a 340-345mm	71- No comprometida	71- Muy desfavorable			
				72- > 40 m	72- Muy meteorizada	72- Muy lisa	72- Relativa a 345-350mm	72- No comprometida	72- Muy desfavorable			
				73- > 40 m	73- Muy meteorizada	73- Muy lisa	73- Relativa a 350-355mm	73- No comprometida	73- Muy desfavorable			
				74- > 40 m	74- Muy meteorizada	74- Muy lisa	74- Relativa a 355-360mm	74- No comprometida	74- Muy desfavorable			
				75- > 40 m	75- Muy meteorizada	75- Muy lisa	75- Relativa a 360-365mm	75- No comprometida	75- Muy desfavorable			
				76- > 40 m	76- Muy meteorizada	76- Muy lisa	76- Relativa a 365-370mm	76- No comprometida	76- Muy desfavorable			
				77- > 40 m	77- Muy meteorizada	77- Muy lisa	77- Relativa a 370-375mm	77- No comprometida	77- Muy desfavorable			
				78- > 40 m	78- Muy meteorizada	78- Muy lisa	78- Relativa a 375-380mm	78- No comprometida	78- Muy desfavorable			
				79- > 40 m	79- Muy meteorizada	79- Muy lisa	79- Relativa a 380-385mm	79- No comprometida	79- Muy desfavorable			
				80- > 40 m	80- Muy meteorizada	80- Muy lisa	80- Relativa a 385-390mm	80- No comprometida	80- Muy desfavorable			
				81- > 40 m	81- Muy meteorizada	81- Muy lisa	81- Relativa a 390-395mm	81- No comprometida	81- Muy desfavorable			
				82- > 40 m	82- Muy meteorizada	82- Muy lisa	82- Relativa a 395-400mm	82- No comprometida	82- Muy desfavorable			
				83- > 40 m	83- Muy meteorizada	83- Muy lisa	83- Relativa a 400-405mm	83- No comprometida	83- Muy desfavorable			
				84- > 40 m	84- Muy meteorizada	84- Muy lisa	84- Relativa a 405-410mm	84- No comprometida	84- Muy desfavorable			
				85- > 40 m	85- Muy meteorizada	85- Muy lisa	85- Relativa a 410-415mm	85- No comprometida	85- Muy desfavorable			
				86- > 40 m	86- Muy meteorizada	86- Muy lisa	86- Relativa a 415-420mm	86- No comprometida	86- Muy desfavorable			
				87- > 40 m	87- Muy meteorizada	87- Muy lisa	87- Relativa a 420-425mm	87- No comprometida	87- Muy desfavorable			
				88- > 40 m	88- Muy meteorizada	88- Muy lisa	88- Relativa a 425-430mm	88- No comprometida	88- Muy desfavorable			
				89- > 40 m	89- Muy meteorizada	89- Muy lisa	89- Relativa a 430-435mm	89- No comprometida	89- Muy desfavorable			
				90- > 40 m	90- Muy meteorizada	90- Muy lisa	90- Relativa a 435-440mm	90- No comprometida	90- Muy desfavorable			
				91- > 40 m	91- Muy meteorizada	91- Muy lisa	91- Relativa a 440-445mm	91- No comprometida	91- Muy desfavorable			
				92- > 40 m	92- Muy meteorizada	92- Muy lisa	92- Relativa a 445-450mm	92- No comprometida	92- Muy desfavorable			
				93- > 40 m	93- Muy meteorizada	93- Muy lisa	93- Relativa a 450-455mm	93- No comprometida	93- Muy desfavorable			
				94- > 40 m	94- Muy meteorizada	94- Muy lisa	94- Relativa a 455-460mm	94- No comprometida	94- Muy desfavorable			
				95- > 40 m	95- Muy meteorizada	95- Muy lisa	95- Relativa a 460-465mm	95- No comprometida	95- Muy desfavorable			
				96- > 40 m	96- Muy meteorizada	96- Muy lisa	96- Relativa a 465-470mm	96- No comprometida	96- Muy desfavorable			
				97- > 40 m	97- Muy meteorizada	97- Muy lisa	97- Relativa a 470-475mm	97- No comprometida	97- Muy desfavorable			
				98- > 40 m	98- Muy meteorizada	98- Muy lisa	98- Relativa a 475-480mm	98- No comprometida	98- Muy desfavorable			
				99- > 40 m	99- Muy meteorizada	99- Muy lisa	99- Relativa a 480-485mm	99- No comprometida	99- Muy desfavorable			
				100- > 40 m	100- Muy meteorizada	100- Muy lisa	100- Relativa a 485-490mm	100- No comprometida	100- Muy desfavorable			
				101- > 40 m	101- Muy meteorizada	101- Muy lisa	101- Relativa a 490-495mm	101- No comprometida	101- Muy desfavorable			
				102- > 40 m	102- Muy meteorizada	102- Muy lisa	102- Relativa a 495-500mm	102- No comprometida	102- Muy desfavorable			
				103- > 40 m	103- Muy meteorizada	103- Muy lisa	103- Relativa a 500-505mm	103- No comprometida	103- Muy desfavorable			
				104- > 40 m	104- Muy meteorizada	104- Muy lisa	104- Relativa a 505-510mm	104- No comprometida	104- Muy desfavorable			
				105- > 40 m	105- Muy meteorizada	105- Muy lisa	105- Relativa a 510-515mm	105- No comprometida	105- Muy desfavorable			
				106- > 40 m	106- Muy meteorizada	106- Muy lisa	106- Relativa a 515-520mm	106- No comprometida	106- Muy desfavorable			
				107- > 40 m	107- Muy meteorizada	107- Muy lisa	107- Relativa a 520-525mm	107- No comprometida	107- Muy desfavorable			
				108- > 40 m	108- Muy meteorizada	108- Muy lisa	108- Relativa a 525-530mm	108- No comprometida	108- Muy desfavorable			
				109- > 40 m	109- Muy meteorizada	109- Muy lisa	109- Relativa a 530-535mm	109- No comprometida	109- Muy desfavorable			
				110- > 40 m	110- Muy meteorizada	110- Muy lisa	110-					

CAUDALOSA				Sección: S 6x4	Nivel:	Labor: Tajo 598	CLASIFICACION DEL MACIZO					
Refer. Topog.:				Fecha: 30 DE JUNIO 2018	Hecho por:			ROCOSO RMR				
Refer. Litologica:				Condición de la Exposición:			RMR					
Registro Nº				# Familia de	Azmut Labor	Dimensión de la Labor:			Buzamiento Veta:			
Discontinuidades				255								
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES												
Resistencia a la Compresión				ROD			Espaciamiento entre Discontinuidad			Orientación de Discontinuidades		
Persistencia				Meteorización			Rugosidad			Relleno		
Agua Subterránea				Orientación de Discontinuidades			RMR			PROGRESIVAS		
Punto de Medida				Punto de Medida			Punto de Medida			Punto de Medida		
CT				7			10			48		
CP				7			10			50		
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA				Orient. Martillo			Numero de Golpes			P		
CT				X			36			37.2		
CP				X			38			38.2		
EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**				DISCONTINUIDADES			REPETICIONES			OBSERVACIONES		
Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel			GRADO			INDICE DE RESISTENCIAS		
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-30				Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45			1			10-10		
Muy favorable				Favorable			2			5-25		
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-30				Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45			4			25-50		
Regular				Desfavorable			7			50-100		
Regular				Desfavorable			12			100-250		
Regular				Desfavorable			15			>250		



CAUDALOSA				Sección:	Nivel:	Labor: Tajo 738	CLASIFICACION DEL MACIZO					
Refer. Topog.:				Fecha: 18 DE FEBRERO 2018	Hecho por:			ROCOSO RMR				
Refer. Litologica:				Condición de la Exposición:			RMR					
Registro Nº				# Familia de	Azmut Labor	Dimensión de la Labor:			Buzamiento Veta:			
Discontinuidades				255								
CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES												
Resistencia a la Compresión				ROD			Espaciamiento entre Discontinuidad			Orientación de Discontinuidades		
Persistencia				Meteorización			Rugosidad			Relleno		
Agua Subterránea				Orientación de Discontinuidades			RMR			PROGRESIVAS		
Punto de Medida				Punto de Medida			Punto de Medida			Punto de Medida		
CT				7			10			44		
M				4			8			30		
CP				12			15			53		
CROQUIS LATERAL O EN PLANTA				Orient. Martillo			Numero de Golpes			P		
CT				X			36			0		
CP				X			38			0		
M				X			38			0		
EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**				DISCONTINUIDADES			REPETICIONES			OBSERVACIONES		
Rumbo perpendicular al eje del túnel				Rumbo paralelo al eje del túnel			GRADO			INDICE DE RESISTENCIAS		
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-30				Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45			1			10-10		
Muy favorable				Favorable			2			5-25		
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-30				Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45			4			25-50		
Regular				Desfavorable			7			50-100		
Regular				Desfavorable			12			100-250		
Regular				Desfavorable			15			>250		





CAUDALOSA										Sección:		Nivel: 4430		Labor:		Tajo 200-W		CLASIFICACION DEL MACIZO		ESTIMACION DEL RQD									
CAUDALOSA										Refer. Topog.:		Fecha:		24 DE MARZO 2018		RMR		RQD = 100 - 2.5 * (F + 1)		F = # discontinuidades									
CAUDALOSA										Litología:		Hecho por:				RMR		DESCRIPCION											
CAUDALOSA										Registro N°		# Familia de Discontinuidades		Asumir Labor		Condición de la Exposición:		RMR		DESCRIPCION									
CAUDALOSA										Espaciamiento entre Discontinuidad		275		Dimensión de la Labor:		Buzamiento Veta: 76		RMR		DESCRIPCION									
CAUDALOSA										Resistencia a la Compresión		RGD		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		RMR		DESCRIPCION							
CAUDALOSA										Punto de Impacto		20		Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										1. > 250 Mpa		1-90 100%		1. No mineralizada		1. Muy rugoso		1. Ninguna		1. Compresión		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										2. 100-250 Mpa		1-90 75%		2. 0.5-2 m		2. Ligeros a rugosa		2. Relleno fino < 5mm		2. Subterránea		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										3. 25-100 Mpa		1-90 50%		3. 200-600 mm		3. Moderadamente rugosa		3. Relleno fino a medio 5-20 mm		3. Moderada		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										4. 25-50 Mpa		1-90 25%		4. 60-120 mm		4. Alisadas		4. Relleno blanco > 20mm		4. Concreto		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										5. < 25 Mpa		1-90 0%		5. < 60 mm		5. Descompuestas		5. Relleno blanco > 20mm		5. No requerido		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										7		8		5		6		3		3		4		15		-5		46	
CAUDALOSA										4		8		5		6		3		3		4		15		-5		43	

CAUDALOSA										Sección:		Nivel: 4433		Labor:		Tajo 155-W		CLASIFICACION DEL MACIZO		ESTIMACION DEL RQD									
CAUDALOSA										Refer. Topog.:		Fecha:		24 DE MARZO 2018		RMR		RQD = 100 - 2.5 * (F + 1)		F = # discontinuidades									
CAUDALOSA										Litología:		Hecho por:				RMR		DESCRIPCION											
CAUDALOSA										Registro N°		# Familia de Discontinuidades		Asumir Labor		Condición de la Exposición:		RMR		DESCRIPCION									
CAUDALOSA										Espaciamiento entre Discontinuidad		10		Dimensión de la Labor:		Buzamiento Veta:		RMR		DESCRIPCION									
CAUDALOSA										Resistencia a la Compresión		RGD		CONDICIONES DE DISCONTINUIDADES		Agua Subterránea		Orientación de Discontinuidades		RMR		DESCRIPCION							
CAUDALOSA										Punto de Impacto		20		Persistencia		Meteorización		Rugosidad		Relleno		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										1. > 250 Mpa		1-90 100%		1. No mineralizada		1. Muy rugoso		1. Ninguna		1. Compresión		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										2. 100-250 Mpa		1-90 75%		2. 0.5-2 m		2. Ligeros a rugosa		2. Relleno fino < 5mm		2. Subterránea		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										3. 25-100 Mpa		1-90 50%		3. 200-600 mm		3. Moderadamente rugosa		3. Relleno fino a medio 5-20 mm		3. Moderada		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										4. 25-50 Mpa		1-90 25%		4. 60-120 mm		4. Alisadas		4. Relleno blanco > 20mm		4. Concreto		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										5. < 25 Mpa		1-90 0%		5. < 60 mm		5. Descompuestas		5. Relleno blanco > 20mm		5. No requerido		RMR		DESCRIPCION					
CAUDALOSA										7		8		10		6		3		3		4		15		-5		51	
CAUDALOSA										7		10		10		6		3		3		4		15		-5		53	

EFFECTO DE LA ORIENTACION DE RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN LA PERFORACION DE TUNELES**				DISCONTINUIDADES		REPETICIONES		OBSERVACIONES		GRADO		INDICE DE RENTENDAS IDENTIFICACION DE CAMPO		RANGO PERFORACION COMP. Mpa	
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel		DIR. BUZ.		BUZ.									
Excavación hacia el buzamiento-buz. 45-90	Excavación hacia el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45	1:								1	Decomble con golpes firmes con la punta de martillo de geológico se descomble con sus ocultos	10-15	
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Regular	2:								2	Se descomble con dificultad con ocultos. Marcoz poco profundas en la roca con golpe firme del martillo (6 patts)	5-25	
Excavación contra el buzamiento-buz. 45-90	Excavación contra el buzamiento-buz. 20-45	Buzamiento 0-20 - independiente del rumbo	Regular	3:								3	No se raya ni descomble con ocultos. La muestra se rompe con golpe firme del martillo	25-50	
Regular	Desfavorable	Regular		4:								4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50-100	
				5:								5	Se requiere varios golpes de martillo para romper la muestra	100-250	
				6:								6	Solo se rompe con fuerza de la muestra con el martillo	> 250	



## **ANEXO 3**

### **INORME DEL LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS DE LA PUCP**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATOLICA**  
DEL PERÚ

DEPARTAMENTO  
DE **INGENIERÍA**  
*Sección Ingeniería de Minas*

Lima, 20 de Junio de 2018

Carta N° 054/LMR/PUCP

Señor  
**Ing. Luis Seijas**  
Compañía Minera Caudalosa S.A.  
Presente.-

Estimado ingeniero:

Por medio de la presente tengo a bien saludarlo y aprovecho la oportunidad para enviar el informe final de los resultados de los ensayos del Laboratorio de Mecánica de Rocas.

Sin otro particular, me despido de usted.

Cordialmente,

Ing. Mario Cedrón Lassús  
Coordinador de la Sección Minas

Av. Universitaria N°1801, San Miguel  
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001  
F: (511) 626 2852

[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

DEPARTAMENTO  
DE **INGENIERÍA**  
*Sección Ingeniería de Minas*

***ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS  
ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL  
ENSAYOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS***

Solicitado por:  
Compañía Minera Caudalosa S.A.

Muestra:  
Bloques de roca

Fecha  
Junio 20, 2018

Av. Universitaria N° 1801, San Miguel  
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001  
F: (511) 626 2852

[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)



**ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C 97 – 02.

Los resultados son los siguientes:

Muestra	Sub_muestra	Peso saturado (gr)	Peso suspendido (gr)	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad Apparente (%)	Absorción (%)
Caja Techo	A	128.48	79.02	125.28	2.533	2.598	6.470	2.554
	B	126.50	77.43	123.03	2.507	2.578	7.072	2.820
	C	131.45	80.16	127.50	2.486	2.563	7.701	3.098
	D	125.88	77.15	122.57	2.515	2.583	6.793	2.700
	E	116.44	70.98	113.12	2.488	2.561	7.303	2.935
				<b>Promedio</b>	<b>2.506</b>	<b>2.577</b>	<b>7.068</b>	<b>2.822</b>
Caja Piso	A	280.00	177.82	276.64	2.707	2.740	3.288	1.215
	B	284.98	181.91	281.34	2.730	2.765	3.532	1.294
	C	200.09	127.55	197.72	2.726	2.758	3.267	1.199
	D	186.20	118.45	183.53	2.709	2.748	3.941	1.455
	E	188.61	119.97	185.94	2.709	2.748	3.890	1.436
				<b>Promedio</b>	<b>2.716</b>	<b>2.752</b>	<b>3.584</b>	<b>1.320</b>



**ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS (continuación)**

Muestra	Sub_muestra	Peso saturado (gr)	Peso suspendido (gr)	Peso seco (gr)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada (gr/cm <sup>3</sup> )	Porosidad Apparente (%)	Absorción (%)
Estructura Mineralizada	A	200.25	125.89	197.22	2.652	2.693	4.075	1.536
	B	193.26	119.89	191.61	2.615	2.638	2.252	0.861
	C	110.75	68.88	109.30	2.610	2.645	3.463	1.327
	D	193.35	122.15	191.88	2.695	2.716	2.065	0.766
	E	127.09	80.87	124.70	2.698	2.750	5.171	1.917
				<b>Promedio</b>	<b>2.654</b>	<b>2.688</b>	<b>3.405</b>	<b>1.281</b>

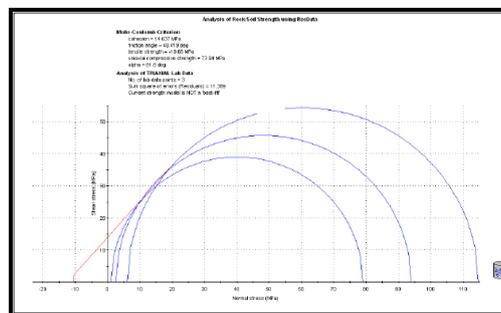
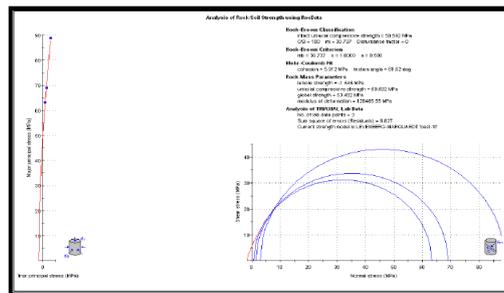
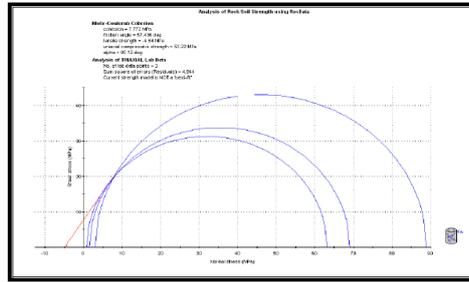


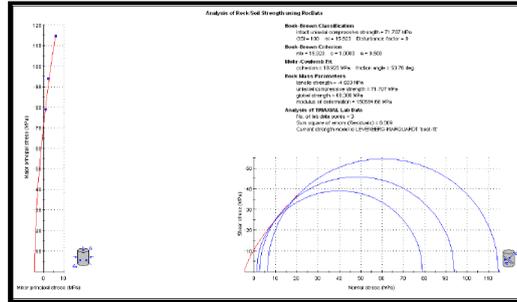
**ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL**

Se han ensayado 3 testigos de cada muestra entregada. Los ensayos se realizaron según la norma ASTM 2664-95.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Muestra	Probeta	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	$\sigma_{1max}$ (MPa)	$\sigma_3$ (MPa)	Angulo de Fricción interno (°)	Cohesión (MPa)	$m_1$
Caja Piso	A	5.48	11.51	63.20	0.75	57.44	7.77	30.74
	B	5.48	11.03	69.02	1.50			
	C	5.48	11.20	88.98	3.00			
Caja Techo	A	5.48	11.25	79.00	1.00	48.42	14.04	15.92
	B	5.48	11.00	93.97	2.50			
	C	5.48	11.12	114.76	6.00			

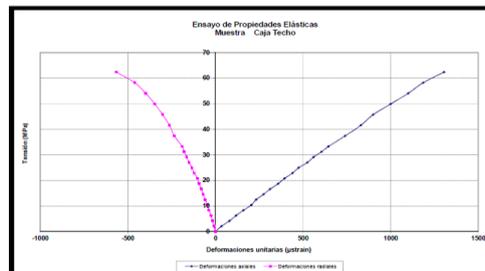


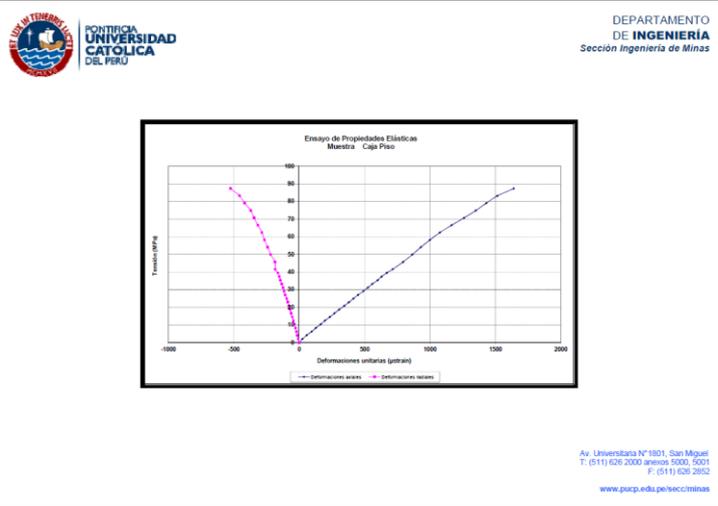


**ENSAYOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS**

Los resultados son los siguientes:

Muestra	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Constante de Poisson (ν)	Resistencia última (MPa)
Caja Piso	5.48	11.23	56.38	0.26	87.31
Caja Techo	5.48	11.12	51.00	0.32	66.11



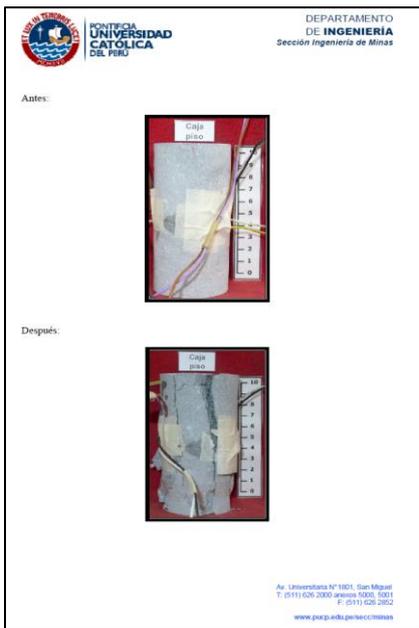
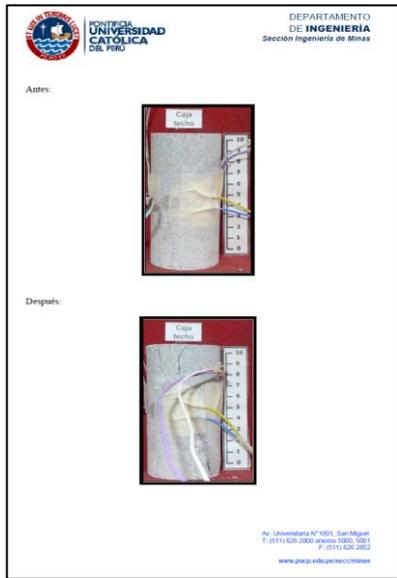



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

DEPARTAMENTO DE **INGENIERÍA**  
 Sección Ingeniería de Minas

**FOTOS**  
  
**ENSAYOS DE PROPIEDADES ELÁSTICAS**

Av. Universitaria N° 1801, San Miguel  
 T: (011) 626 2000 anexos 5000, 5001  
 F: (011) 626 2652  
[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)





**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

DEPARTAMENTO  
DE **INGENIERIA**  
Sección Ingeniería de Minas

**FOTOS**

**ENSAYOS DE COMPRESIÓN  
TRIAxIAL**

Av. Universitaria N°1801, San Miguel  
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001  
F: (511) 626 2852  
[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)

DEPARTAMENTO  
DE **INGENIERIA**  
Sección Ingeniería de Minas

Antes:



Después:



Av. Universitaria N°1801, San Miguel  
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001  
F: (511) 626 2852  
[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

DEPARTAMENTO  
DE **INGENIERIA**  
Sección Ingeniería de Minas

Antes:



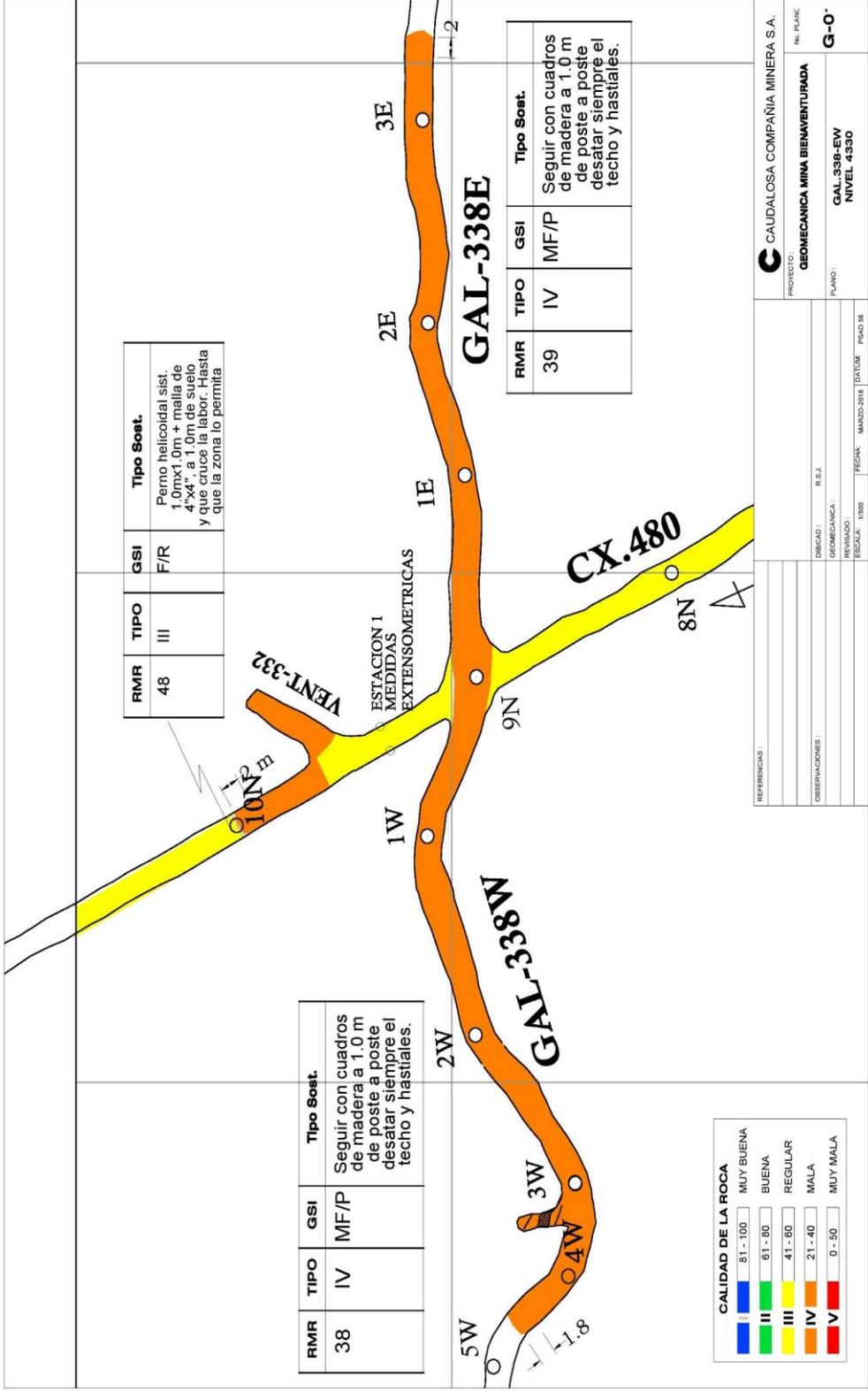
Después:

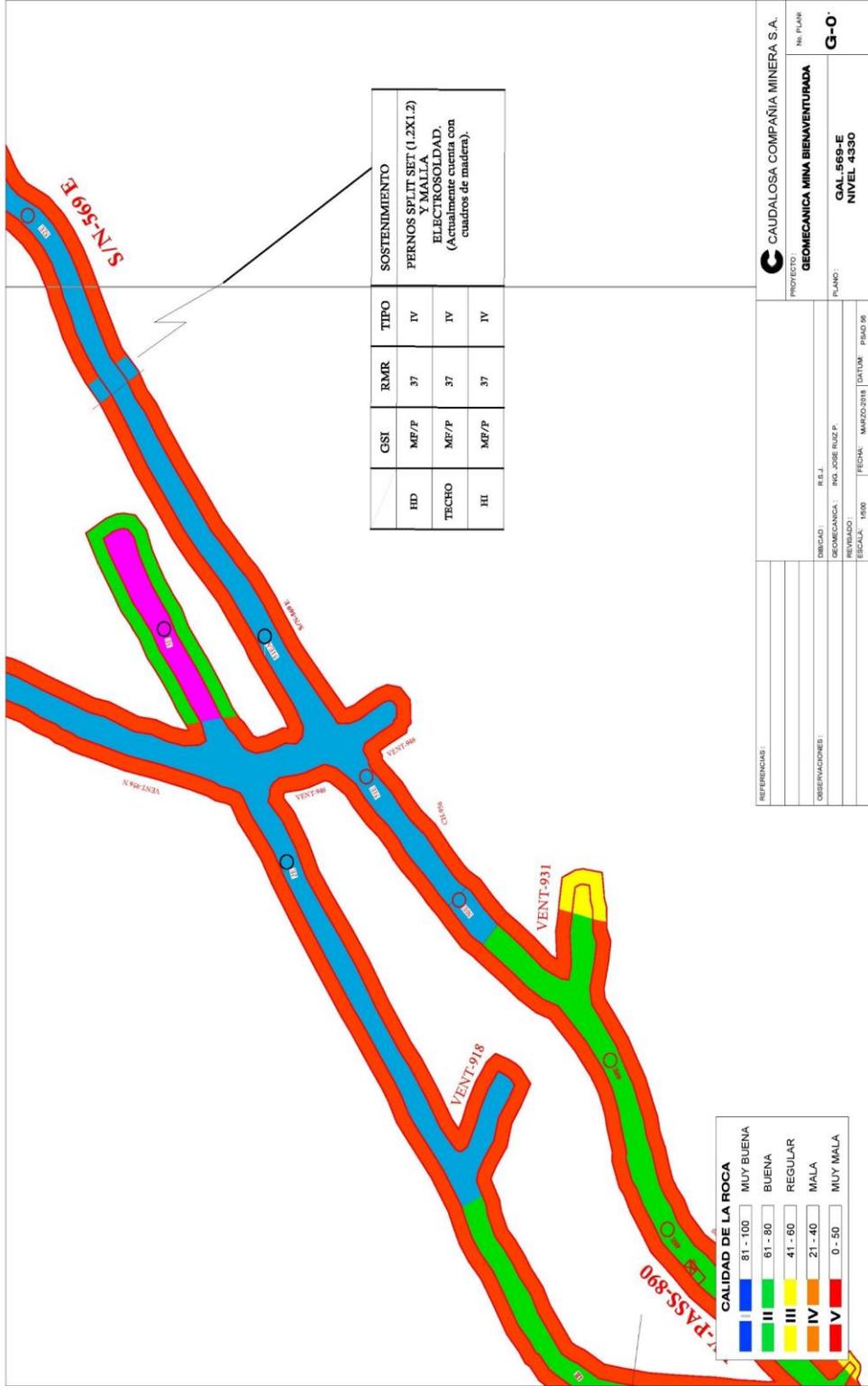


Av. Universitaria N°1801, San Miguel  
T: (511) 626 2000 anexos 5000, 5001  
F: (511) 626 2852  
[www.pucp.edu.pe/secc/minas](http://www.pucp.edu.pe/secc/minas)

## **ANEXO 4**

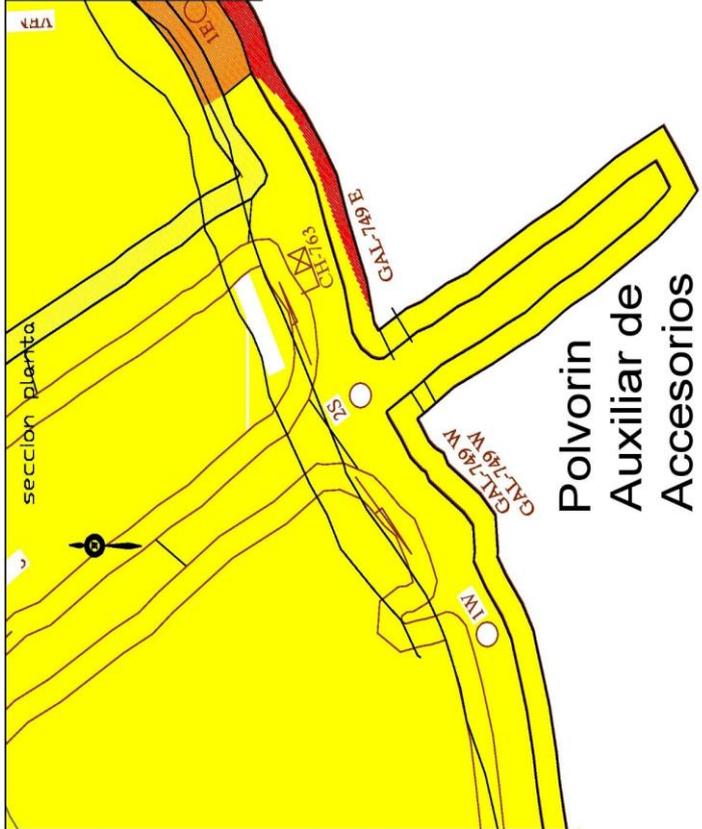
### **PLANOS GEOMECANICOS**





LEYENDA GEOMECANICA

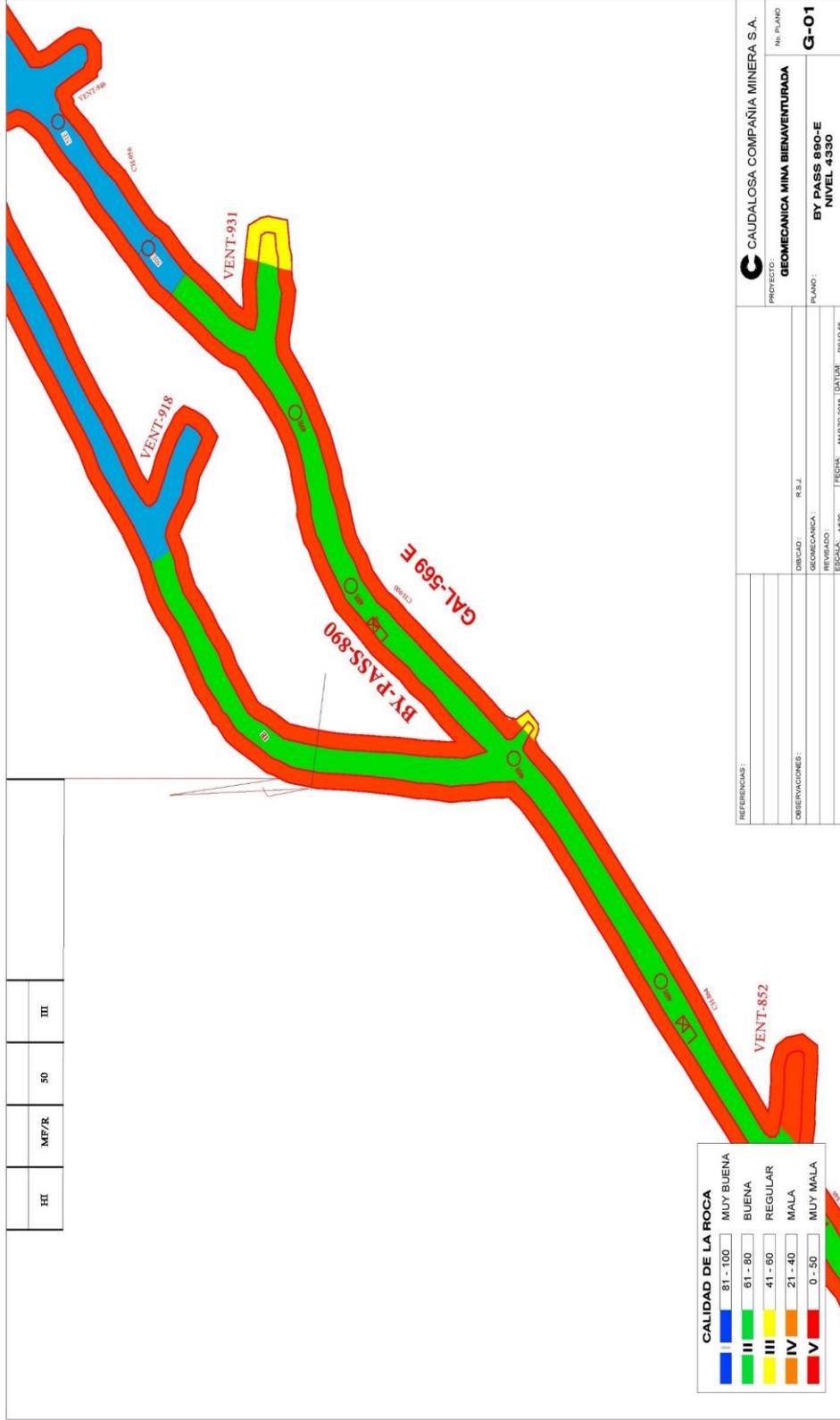
CALIDAD DE ROCA	TIPO	RMR	GSI
MUY BUENA		81 - 100	
BUENA		61 - 80	F/B, LF/R, LF/B
REGULAR		41 - 60	Z/R, F/P, F/R, MF/B, LF/B
MALA		21 - 40	
MUY MALA		0 - 20	F/MP



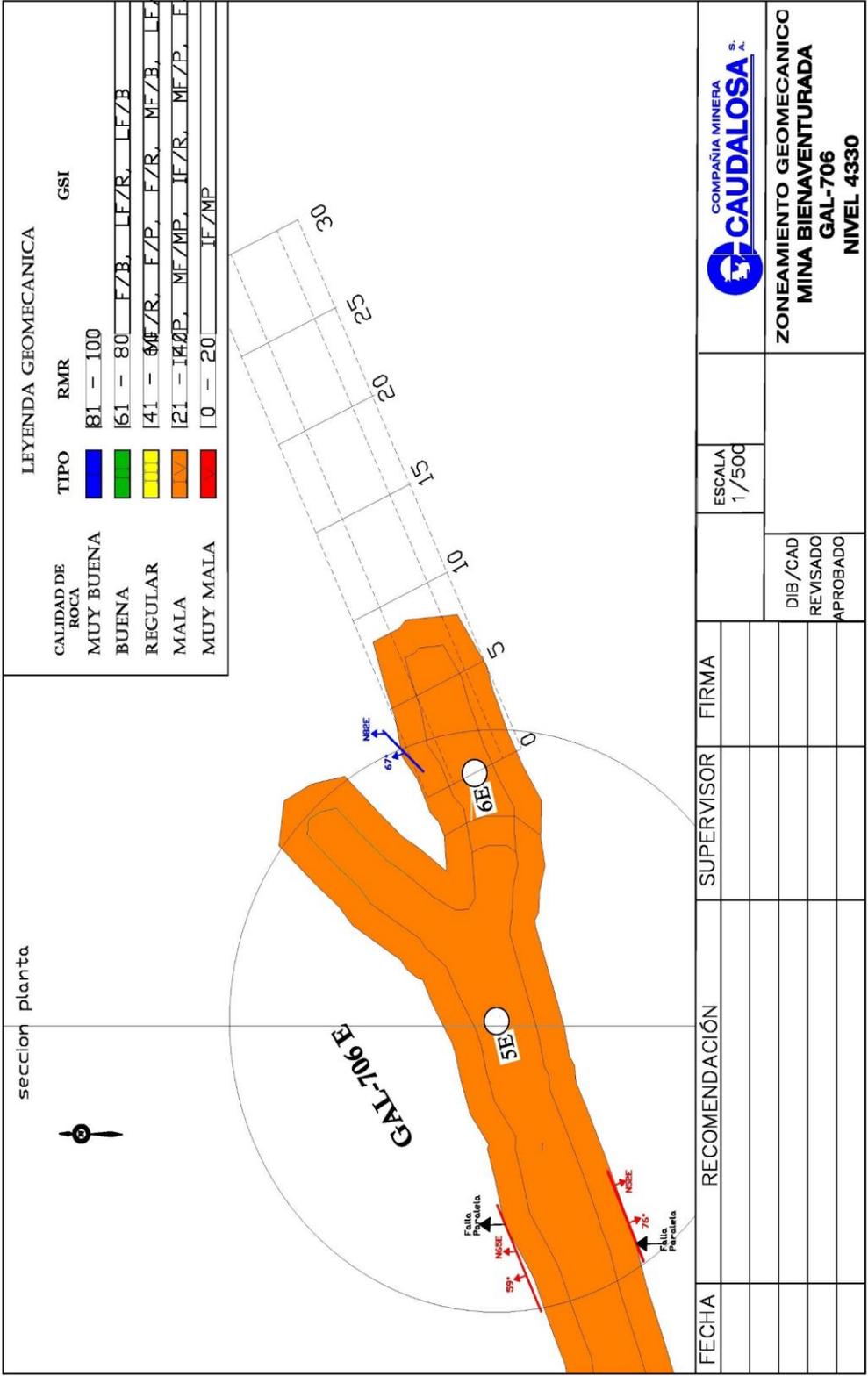
## Polvorin Auxiliar de Accesorios

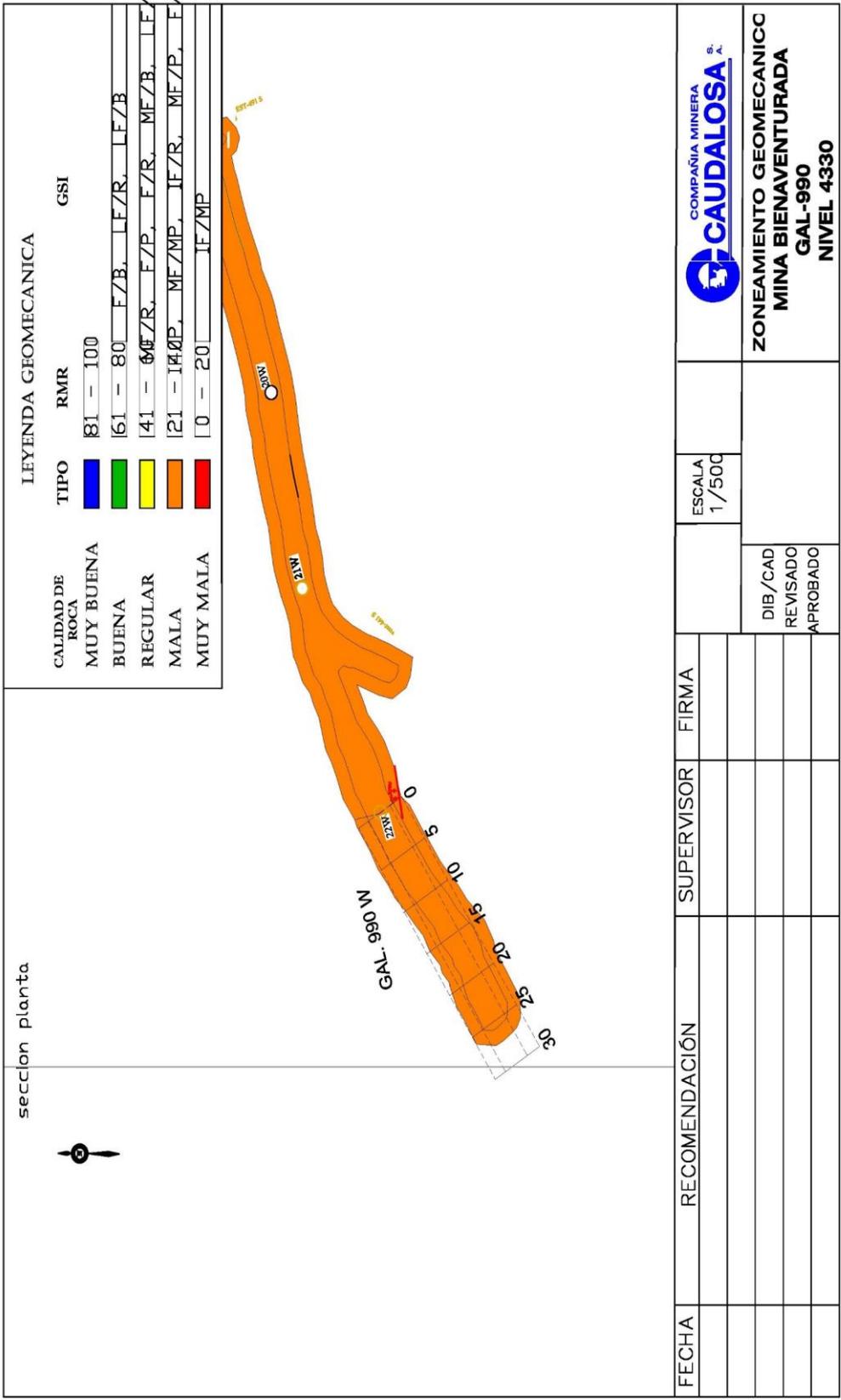
FECHA	RECOMENDACIÓN	SUPERVISOR	FIRMA	ESCALA 1/500	
					<b>ZONEAMIENTO GEOMECANICO</b> <b>MINA BIENAVENTURADA</b> <b>Polvorin Auxiliar de Accesorios</b> <b>NIVEL 4280</b>
				DIB/CAD REVISADO APROBADO	

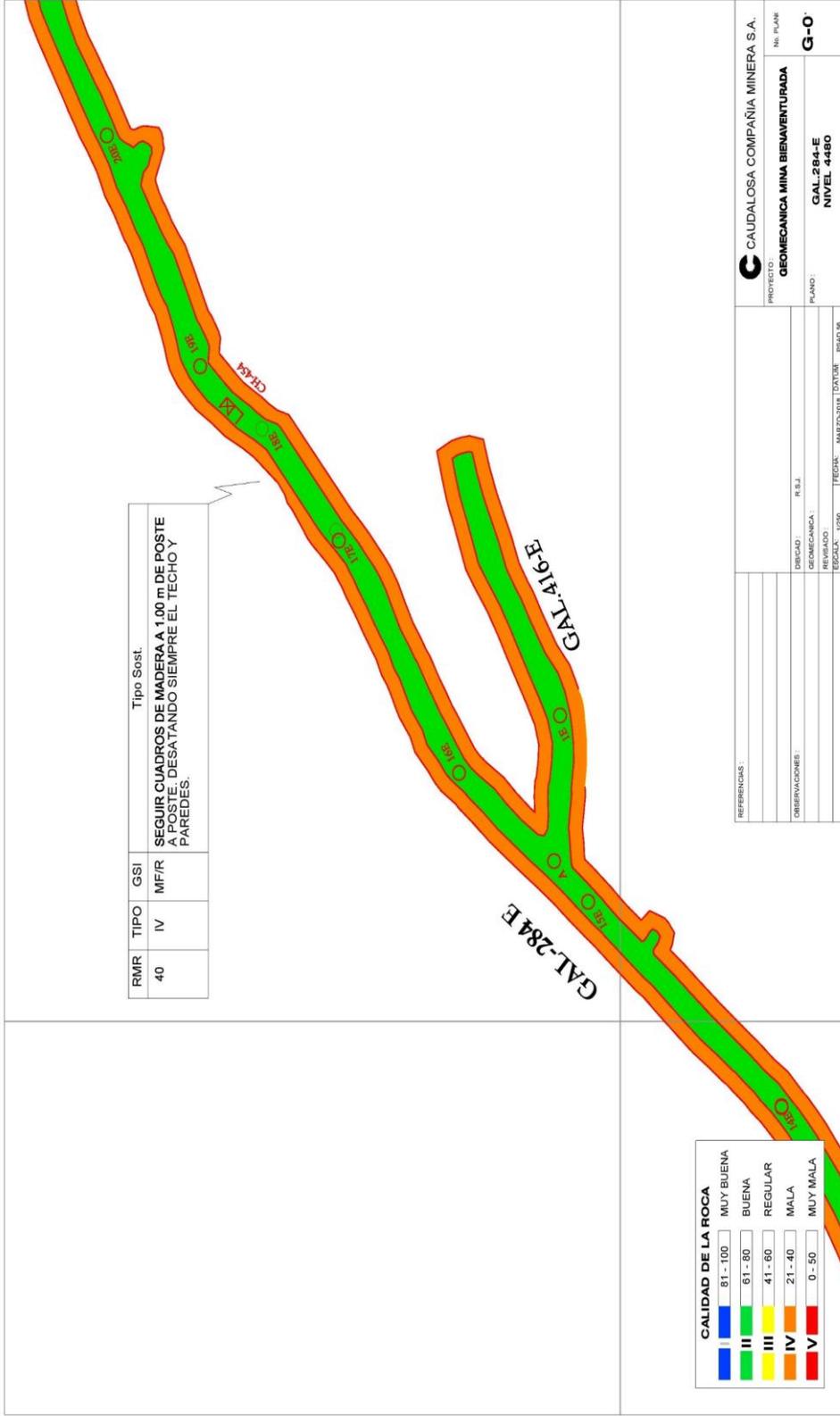




REFERENCIAS:	
OBSERVACIONES:	
PROYECTO:	CAUDALOSA COMPAÑIA MINERA S.A.
PROYECTO:	GEOMECANICA MINA BIENVENTURADA
NO. PLANO:	G-01
PLANO:	BY PASS 890-E NIVEL 4330
DIBUJADO:	R.B.J.
REVISADO:	
ESCALA:	1:500
FECHA:	MARZO-2018
DATE:	PSAD 36



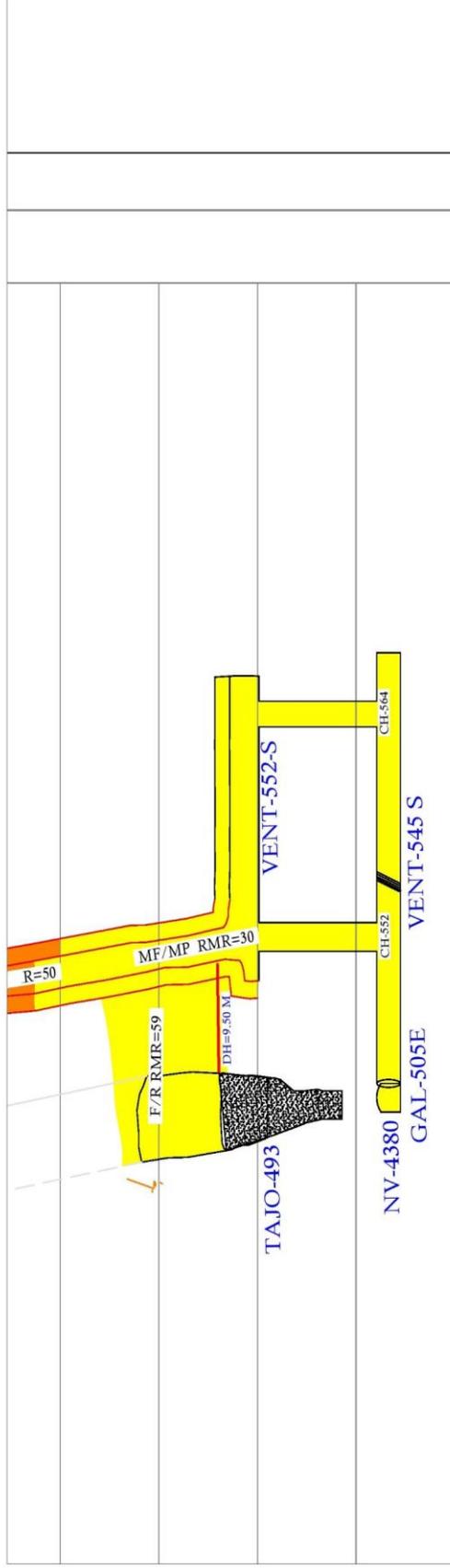




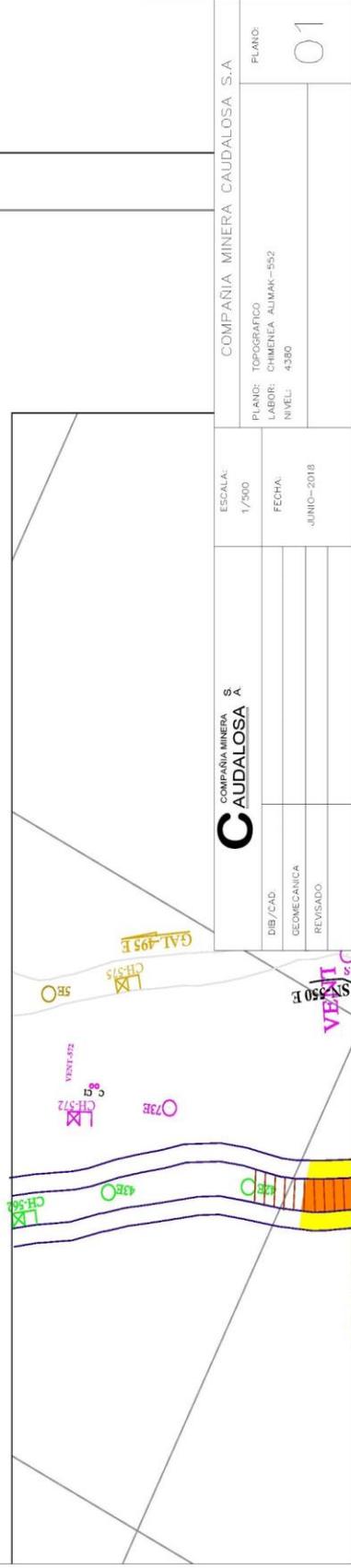
RMR	TIPO	GSI	Tipo Sost.
40	IV	MFR	SEGUIR CUADROS DE MADERA A 1.00 m DE POSTE A POSTE, DESATANDO SIEMPRE EL TECHO Y PAREDES.

CALIDAD DE LA ROCA	
I	81 - 100 MUY BUENA
II	61 - 80 BUENA
III	41 - 60 REGULAR
IV	21 - 40 MALA
V	0 - 50 MUY MALA

REFERENCIAS:	
OBSERVACIONES:	
DESBAD:	R.S.A.
GEOMECANICA:	
REVISADO:	
ESCALA:	1:250
FECHA:	MARZO-2018
DAYURE:	TPAD 06
PROYECTO:	CAUDALOSA COMPAÑIA MINERA S.A.
NO. PLAN:	GEOMECANICA MINA BIENAVENTURADA
PLANO:	GAL-284-E NIVEL 4480
	<b>G-0</b>

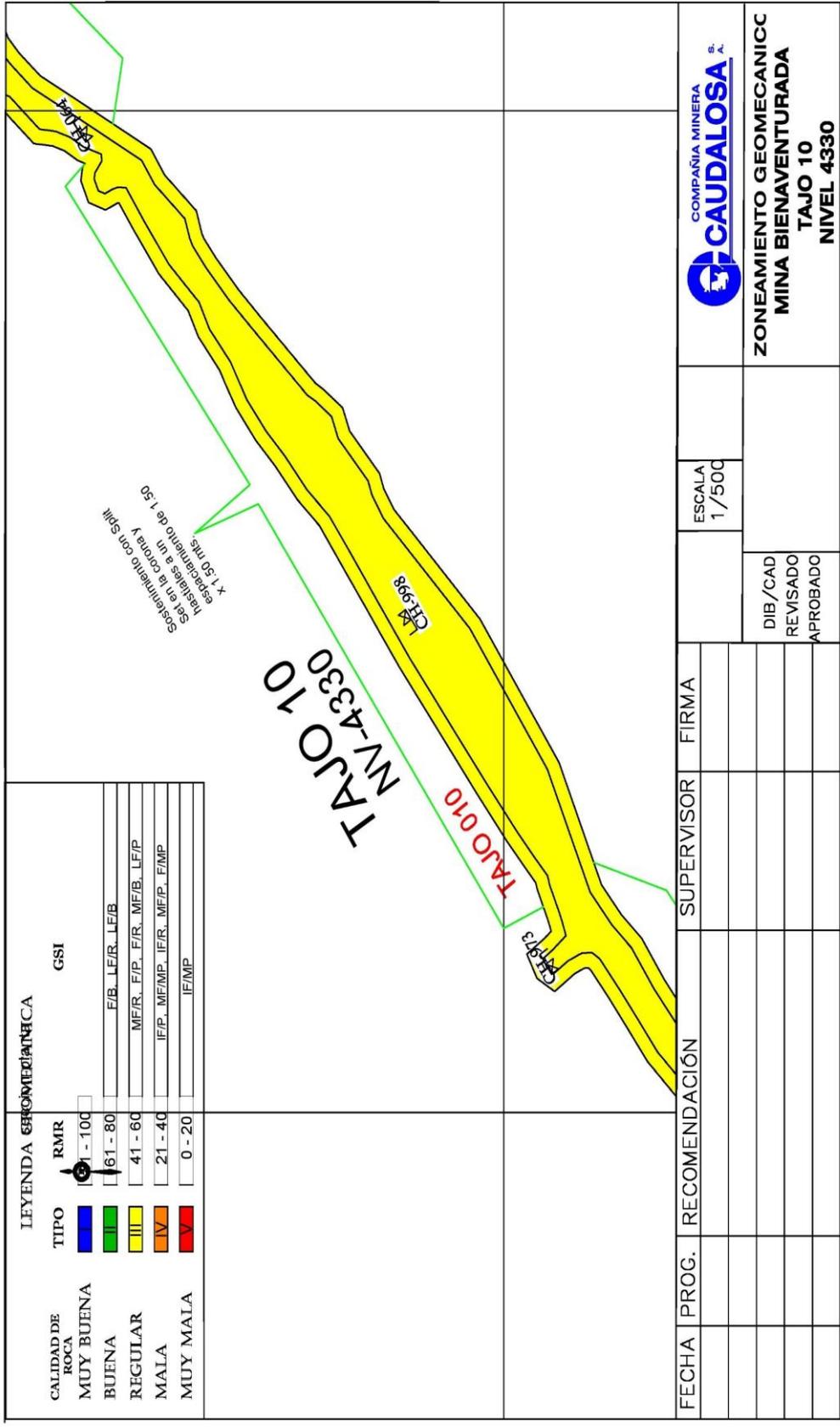


# SECCION PLANTA



<b>COMPAÑIA MINERA CAUDALOSA S.A.</b>	
ESCALA: 1/500	PLANO: TOPOGRAFICO
BIB/CAD GEO MECANICA	LABOR: CHIMBERA ALIMAK-552
REVISADO	NIVEL: 4380
JUNIO-2018	PLANO: 01





**LEYENDA GEOMECANICA**

CALIDAD DE ROCA	TIPO	RMR	GSI
MUY BUENA	█	71 - 100	
BUENA	█	61 - 80	F/B, LF/R, LF/B
REGULAR	█	41 - 60	MF/R, F/P, F/R, MF/B, LF/P
MALA	█	21 - 40	IF/P, MF/MP, IF/R, MF/P, F/MP
MUY MALA	█	0 - 20	IF/MP

Sostentamiento con Siltos  
Ser en la corona y  
respaldos a un ángulo de 150  
x 1:30 mts.

FECHA	PROG.	RECOMENDACIÓN	SUPERVISOR	FIRMA



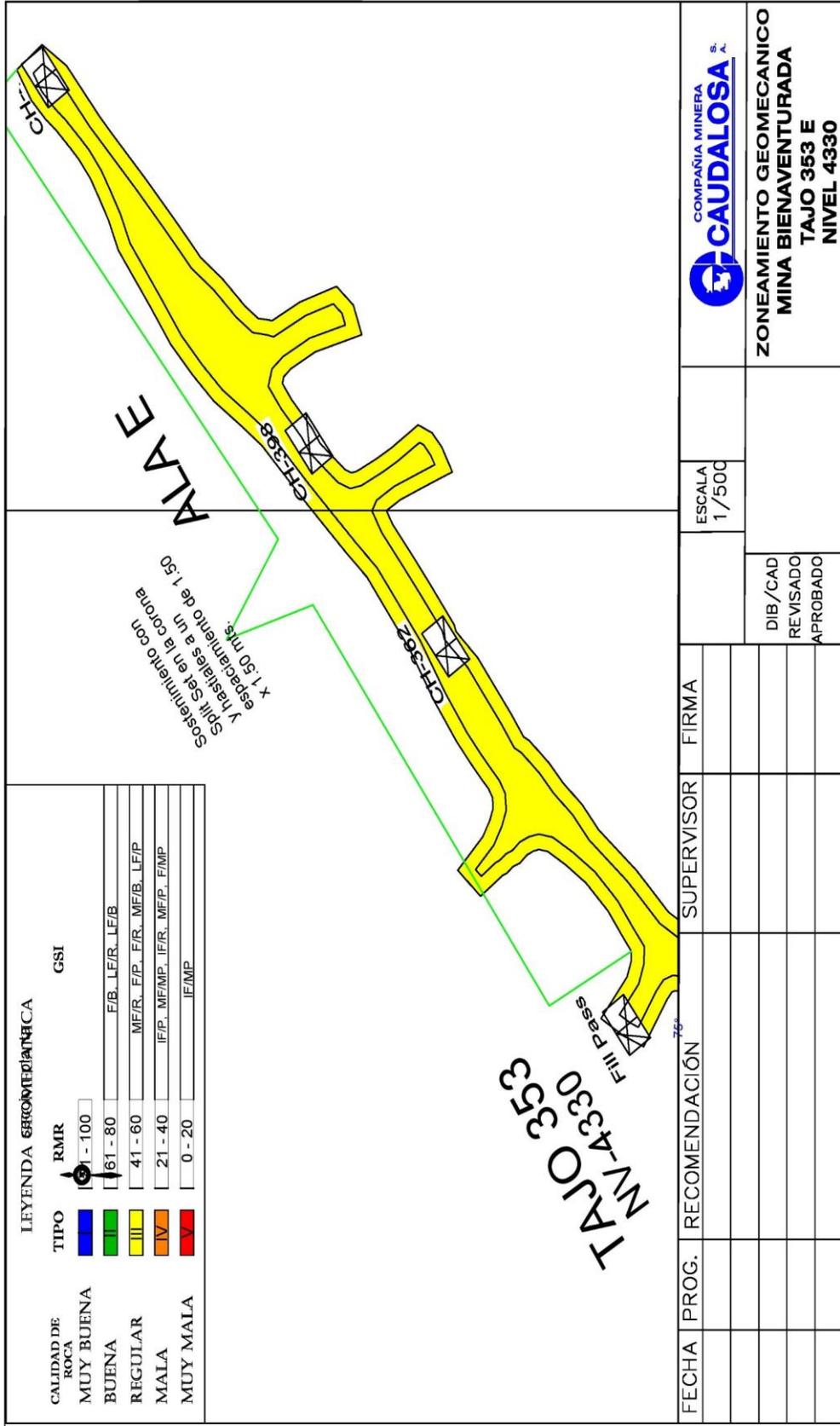
**ZONEAMIENTO GEOMECANIC  
MINA BIENAVENTURADA  
TAJO 10  
NIVEL 4330**

ESCALA  
1/500

DIB/CAD  
REVISADO  
APROBADO



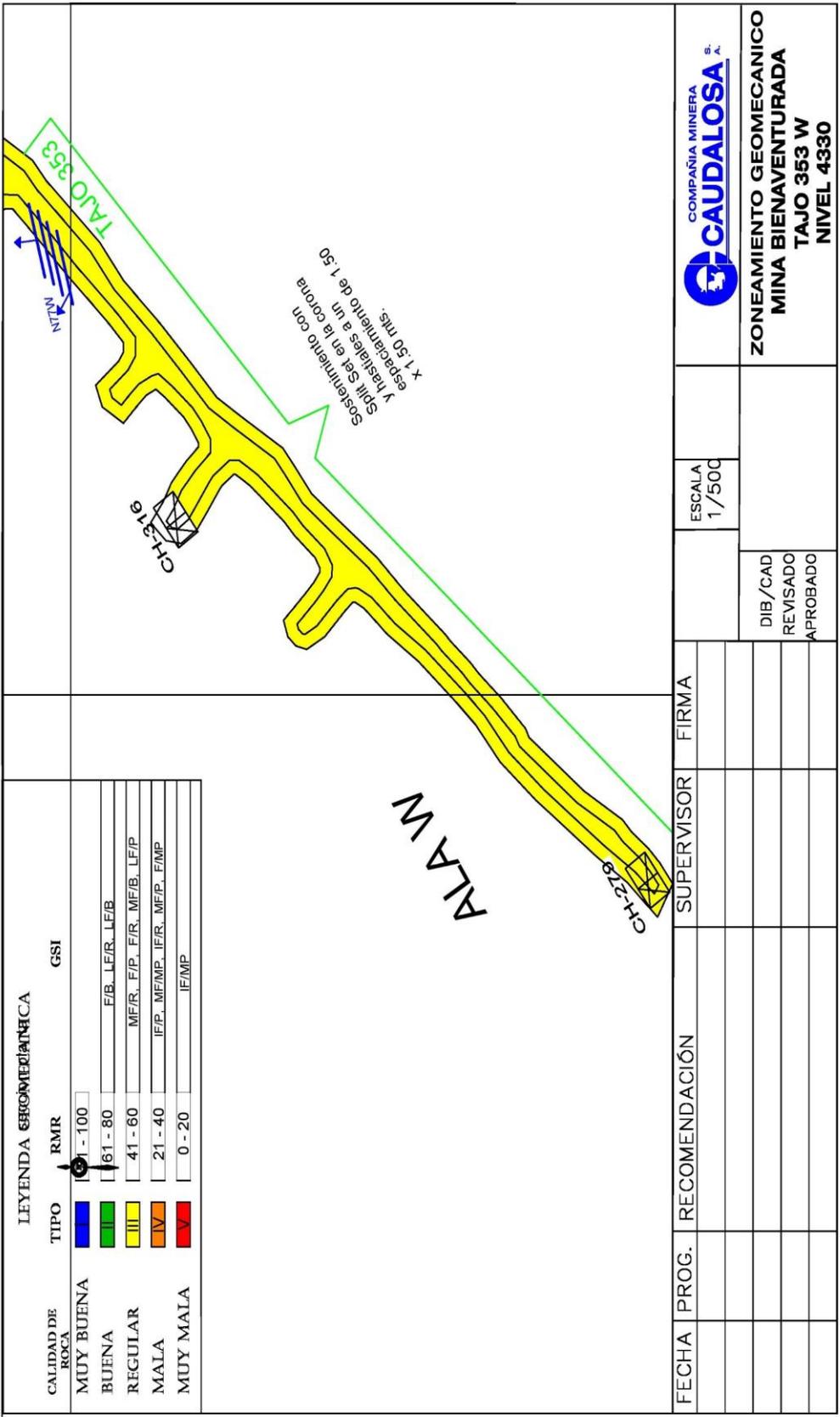




**LEYENDA GEOMECANICA**

CALIDAD DE ROCA	TIPO	RMR	GSI
MUY BUENA	█	61 - 100	
BUENA	█	61 - 80	F/B, LF/R, LF/B
REGULAR	█	41 - 60	MF/R, F/P, F/R, MF/B, LF/P
MALA	█	21 - 40	IF/P, MF/MP, IF/R, MFP, F/MP
MUY MALA	█	0 - 20	IF/MP

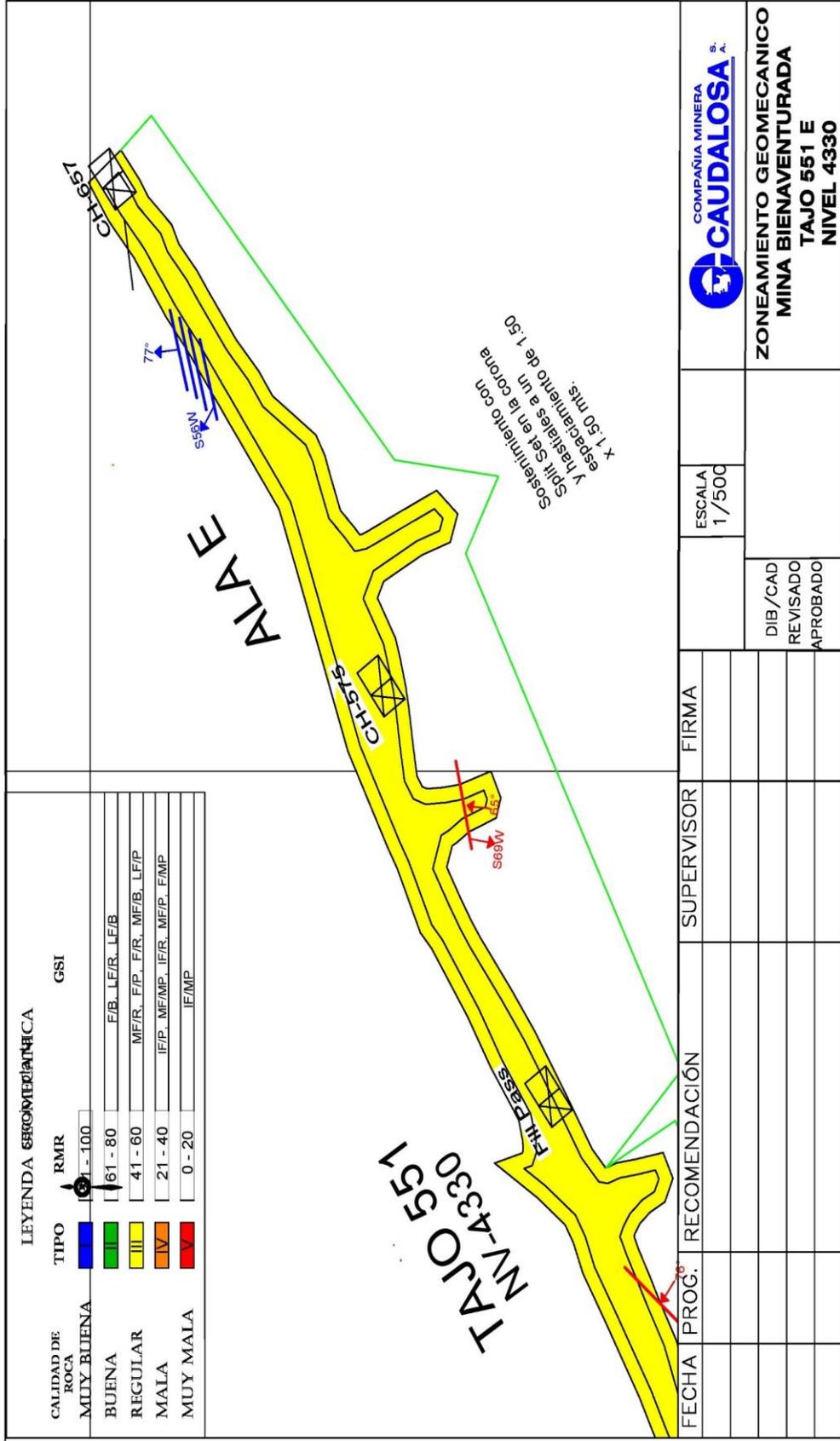
FECHA	PROG.	RECOMENDACIÓN	SUPERVISOR	FIRMA	ESCALA 1/500	 <b>CAUDALOSA S.A.</b> ZONEAMIENTO GEOMECANICO MINA BIENAVENTURADA TAJO 353 E NIVEL 4330
					DIB/CAD REVISADO APROBADO	



**LEYENDA GEOMECANICA**

CALIDAD DE ROCA	TIPO	RMR	GSI
MUY BUENA	I	91 - 100	
BUENA	II	61 - 80	F/B, LF/R, LE/B
REGULAR	III	41 - 60	MF/R, F/P, F/R, MF/B, LF/P
MALA	IV	21 - 40	IF/P, MF/MP, IF/R, MF/P, F/MP
MUY MALA	V	0 - 20	IF/MP

FECHA	PROG.	RECOMENDACIÓN	SUPERVISOR	FIRMA	ESCALA	1/500	DIB/CAD REVISADO APROBADO	<b>COMPANIA MINERA CAUDALOSA S.A.</b> <b>ZONEAMIENTO GEOMECANICO</b> <b>MINA BIENAVENTURADA</b> <b>TAJO 353 W</b> <b>NIVEL 4330</b>



**LEYENDA GEOMECANICA**

CALIDAD DE ROCA	TIPO	RMR	GSI
MUY BUENA	I	91 - 100	
BUENA	II	61 - 80	F/B, LF/R, LF/B
REGULAR	III	41 - 60	MF/R, F/P, F/R, MF/B, LF/P
MALA	IV	21 - 40	IF/P, MF/MP, IF/R, MF/P, F/MP
MUY MALA	V	0 - 20	IF/MP

FECHA	PROG.	RECOMENDACIÓN	SUPERVISOR	FIRMA



**ZONEAMIENTO GEOMECANICO**  
**MINA BIENAVENTURADA**  
**TAJO 551 E**  
**NIVEL 4330**

ESCALA  
1/500

DIB/CAD  
REVISADO  
APROBADO