

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL ANÁLISIS DE  
PERNOS HYDRABOLT EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES  
SUBTERRÁNEAS COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA”**

Presentado por:

**Bach. Jhon Kleen BLANCO CURI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**Asesor: Dr. Agustín AGUIRRE ADAUTO**

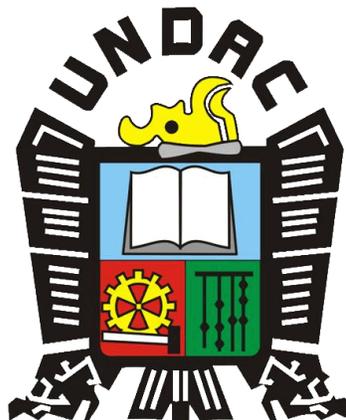
**CERRO DE PASCO – PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA DE MINAS**



**“CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA PARA EL ANÁLISIS DE  
PERNOS HYDRABOLT EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES  
SUBTERRÁNEAS COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA”**

Presentado por:

**Bach. Jhon Kleen BLANCO CURI**

Sustentado y aprobado el día 19/12/2018 ante la comisión de jurados

---

Mg. Silvestre Fabían BENAVIDES CHAGUA  
PRESIDENTE

---

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA  
MIEMBRO

---

Ing. Ricardo CABEZAS LIZANO  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Guido y Lucy por su abnegado sacrificio, apoyo constante e incesante, por sus oraciones y preocupación permanente por mi proyecto de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me es grato de expresar mi sincero agradecimiento a los profesionales y trabajadores del departamento de Geomecánica que laboran en la Compañía Minera Casapalca por su apoyo y colaboración en el presente estudio de tesis.

A los Catedráticos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por sus conocimientos y enseñanzas.

Finalmente a mi Asesor a los Jurados calificadores, que con sus observaciones y sugerencias han enriquecido el presente estudio de investigación.

## RESUMEN

En el presente estudio de tesis tiene como principal objetivo de realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa en relación a la excavación subterránea, para determinar el análisis de la aplicación de los pernos Hydrabolt en la mejora del sostenimiento en las labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca; donde se realizó una serie de procedimientos como los mapeos geomecánicos realizados en interior mina, que fueron procesados y analizados con la aplicación de software como el DIPS. El tipo de investigación es la aplicada donde se utilizan las técnicas, teorías y conocimientos de geomecánica para determinar la calidad de la roca. Según el procedimiento señalado en el Marco Teórico del presente estudio y aplicando los datos obtenidos de la caracterización geomecánica en relación a la masa rocosa; mediante el análisis de los índices geomecánicos como: RMR de Bieniawski entre 68 y 59, del índice Q de Barton con un valor de 35.48 y su valor del diámetro equivalente de 7.5 y el análisis del índice GSI con datos de LF/MB, LF/R, F/MB y F/R, se determina que la masa rocosa debe ser sostenida con pernos de anclaje, y a través de un estudio realizado se demuestra que los pernos de anclaje Hydrabolt tienen mejores ventajas en relación a los otros tipos de pernos en cuanto a la estabilidad de la masa rocosa y costos; asimismo, se demostró su aplicación a través de la prueba de tracción conocido como la prueba del pull test.

Palabras claves: Geomecánica, masa rocosa, pernos hydrabolt

## **SUMMARY**

The present thesis study has as main objective to perform the geomechanical characterization of the rock mass in relation to the underground excavation, to determine the analysis of the application of the bolts hydrabolt in the improvement of the support in the underground works in the Mining Company Casapalca; where a series of procedures was carried out, such as the geomechanical mappings carried out inside the mine, which were processed and analyzed with the application of software such as DIPS. The type of research is applied where the techniques, theories and knowledge of geomechanics are used to determine the quality of the rock. According to the procedure indicated in the Theoretical Framework of the present study and applying the data obtained from the geomechanical characterization in relation to the rock mass; by analyzing geomechanical indices such as: Bieniawski's RMR between 68 and 59, Barton's Q index with a value of 35.48 and its equivalent diameter value of 7.5 and the GSI index analysis with data of LF / MB, LF / R, F / MB and F / R, it is determined that the rock mass must be supported with anchor bolts, and through a study carried out it is demonstrated that the hydrabolt anchor bolts have better advantages in relation to the other types of bolts in regarding the stability of the rock mass and costs; Likewise, its application was demonstrated through the tensile test known as the pull test.

**Keywords: Geomechanics, rock mass, hydrabolt bolts**

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio de tesis, se realizó en la Mina Casapalca S.A. con el objetivo de realizar la caracterización geomecánica de la masa rocosa y mineralizada para el análisis de la aplicación del perno hydrabolt en el mejoramiento del sostenimiento de las labores subterráneas.

En este contexto se caracterizó la masa rocosa a través de la, descripción, valoración y análisis a través de los índices geomecánicos más conocidos como son: el RMR de Bieniawski, índice Q de Barton y el índice GSI de Ever Hoek y Mariños, con los datos obtenidos realizar el análisis de la aplicación del perno hydrabolt en el sostenimiento de las labores. El presente estudio de tesis se desarrolla en la mina Casapalca S.A. y consta de los siguientes capítulos.

El Capítulo I, comprende el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación del estudio; alcances y limitaciones, marco teórico, hipótesis metodología del estudio, técnicas de recolección y procesamiento de datos.

En este capítulo II se considera generalidades de la mina como son: ubicación y accesibilidad, clima y vegetación, fisiografía, recursos, historia y la organización de la Compañía Minera.

El Capítulo III, está referida a los aspectos geológicos de la mina; geología regional, estratigrafía, geología estructural, geología local, geología económica, estructuras mineralizadas y ubicación

En el Capítulo IV, se considera el aspecto minero como son: labores mineras, método de explotación, sublevel stoping, y las operaciones unitarias.

Finalmente, el capítulo V comprende, resultados y discusión, como: la caracterización geomecánica, análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas, contrastación de hipótesis y la discusión de resultados.

# ÍNDICE

|                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>Dedicatoria</b>    |  |
| <b>Agradecimiento</b> |  |
| <b>Resumen</b>        |  |
| <b>Summary</b>        |  |
| <b>Introducción</b>   |  |

## CAPITULO I: ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

|  | <u>Pagina</u> |
|--|---------------|
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....   | 01            |
| 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....     | 02            |
| 1.2.1 Problema Principal.....          | 02            |
| 1.2.2 Problemas Específicos.....       | 03            |
| 1.3 DELIMITACIÓN.....                  | 03            |
| 1.3.1 Delimitación espacial .....      | 03            |
| 1.3.2 Delimitación temporal .....      | 03            |
| 1.4 OBJETIVOS de la investigación..... | 03            |
| 1.4.1 Objetivo General .....           | 03            |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....       | 04            |

|  |    |
|--|----|
| 1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....                       | 04 |
| 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....      | 04 |
| 1.7 MARCO TEÓRICO .....                                    | 05 |
| 1.7.1 Antecedentes de la investigación .....               | 05 |
| 1.7.2 Bases teóricas.....                                  | 07 |
| 1.7.3 Marco conceptual.....                                | 13 |
| 1.8 HIPÓTESIS.....   | 16 |
| 1.8.1 Hipótesis general .....                              | 16 |
| 1.8.1 Hipótesis específicas .....                          | 16 |
| 1.8.3 Identificación de variables.....                     | 16 |
| 1.9 METODOLOGIA Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....             | 17 |
| 1.9.1 Tipo y nivel de investigación .....                  | 17 |
| 1.9.2 Diseño de investigación .....                        | 18 |
| 1.9.3 Población y muestra .....                            | 18 |
| 1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..... | 18 |
| 1.11 TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS .....    | 18 |

## **CAPÍTULO II: GENERALIDADES**

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 2.1 UBICACIÓN Y ACCESO ..... | 20 |
| 2.2 CLIMA Y VEGETACIÓN.....  | 22 |
| 2.3 FISIOGRAFIA.....         | 22 |
| 2.4 RECURSOS .....           | 23 |
| 2.5 HISTORIA .....           | 24 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.6 ORGANIZACIÓN..... | 24 |
|-----------------------|----|

### **CAPÍTULO III: ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA MINA**

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....            | 27 |
| 3.1.1 Estratigrafía.....              | 27 |
| 3.1.2 Rocas Ígneas.....               | 32 |
| 3.1.3 Depósitos Cuaternarios.....     | 33 |
| 3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....         | 33 |
| 3.2.1 Anticlinales y Sinclinales..... | 33 |
| 3.2.1 Fallas y Fracturas.....         | 34 |
| 3.3 GEOLOGÍA LOCAL.....               | 35 |
| 3.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....           | 35 |
| 3.4.1 Génesis y Paragénesis.....      | 35 |
| 3.4.2 Mineralización.....             | 36 |
| 3.4.3 Zoneamiento.....                | 36 |
| 3.4.4 Alteraciones.....               | 37 |
| 3.4.4 Estructuras Mineralizadas.....  | 38 |
| 3.5 CUBICACIÓN.....                   | 45 |

## CAPÍTULO IV: MINERÍA

|  |    |
|--|----|
| 4.1 LABORES MINERAS .....  | 46 |
| 4.2 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUBLEVEL STOPING.....                  | 47 |
| 4.2.1 Criterios para el Diseño de Minado.....                    | 48 |
| 4.2.2 Criterios para la Selección del Método SLS.....            | 48 |
| 4.2.3 Parámetros del Método SLS en Casapalca .....               | 49 |
| 4.2.4 Desarrollo.....  | 50 |
| 4.2.5 Preparación.....   | 50 |
| 4.2.6 Método de taladros Largos en Paralelos.....                | 51 |
| 4.2.7 Método de taladros Largos en Abanico.....                  | 53 |
| 4.2.8 Ventajas y Desventajas del Método SLS .....                | 54 |
| 4.3 OPERACIONES UNITARIAS.....                                   | 54 |
| 4.3.1 Perforación.....   | 54 |
| 4.3.2 Cara Libre de los Tajeos de Producción .....               | 57 |
| 4.3.2.1 Perforación de la chimenea slot (Cara Libre) .....       | 57 |
| 4.3.2.2 Factores que originan la desviación de taladros.....     | 58 |
| 4.3.2.3 Perforación de la chimenea VCR (vertical crater raise).. | 58 |
| 4.3.3.4 Equipos y accesorios de Perforación .....                | 59 |
| 4.3.3 Voladura.....  | 60 |
| 4.3.4 Limpieza.....  | 61 |

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|  |    |
|--|----|
| 5.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA .....                              | 64 |
| 5.1.1 Estudio Geomecánico .....  | 64 |
| 5.1.1.1 Procedimiento del mapeo geomecánico .....                                    | 64 |
| 5.1.1.2 Registro de datos .....  | 64 |
| 5.1.1.3 Distribución de Discontinuidades.....  | 65 |
| 5.1.1.2 Alteraciones.....  | 69 |
| 5.1.2 Estructura del macizo rocoso .....   | 69 |
| 5.1.3 Aspectos Litológicos .....   | 69 |
| 5.1.4 Condiciones de agua subterránea .....  | 70 |
| 5.1.5 Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas<br>de las rocas .....   | 70 |
| 5.1.6 Criterios de rotura de la matriz rocosa .....                                  | 73 |
| 5.2 ANALISIS DE PERNOS HYDRABOLT EN EL SOSTENIMIENTO<br>DE LABORES SUBTERRANEAS..... | 75 |
| 5.2.1 Características del Macizo Rcoso .....   | 75 |
| 5.2.2 Análisis tipo de sostenimiento a partir del índice RMR .....                   | 76 |
| 5.2.3 Análisis tipo de sostenimiento a partir del índice Q de Barton .....           | 78 |
| 5.2.4 Análisis tipo de sostenimiento asociado al índice GSI .....                    | 80 |
| 5.2.5 Determinación del tipo de pernos de anclaje .....                              | 82 |
| 5.2.6 Aplicación de sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt .....              | 84 |
| 5.2.6.1 Características técnicas.....  | 86 |
| 5.2.6.2 Accesorios de instalación .....  | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.2.6.3 Ventajas.....  | 88  |
| 5.2.7 Instalación de los Pernos Hydrabolt .....  | 88  |
| 5.2.7.1 Secuencia y descripción de la instalación de los<br>Pernos hydrabolt .....                 | 88  |
| 5.2.8 Pull Test o Pruebas de Tracción a los Pernos Hydrabolt .....                                 | 91  |
| 5.2.8.1 Máquinas y Accesorios Requeridos .....   | 91  |
| 5.2.8.2 Secuencia y descripción del pull test o prueba de<br>tracción de los pernos hydrabolt..... | 91  |
| 5.3 CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS .....   | 99  |
| 5.3.1 Hipótesis específica.....  | 100 |
| 5.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....   | 102 |

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXO**

## **CAPITULO I**

### **ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La estabilidad de la roca circundante en una labor subterránea como un tajeo, una galería, un crucero, una estación de pique, una rampa, etc, depende de los esfuerzos y de las condiciones estructurales de la masa rocosa detrás de los bordes de la abertura. Las inestabilidades locales son controladas por los cambios locales en los esfuerzos, por la presencia de rasgos estructurales y por la cantidad de daño causado a la masa rocosa por la voladura.

Actualmente en la mina Casapalca, se tienen problemas de inestabilidad de la masa rocosa en las labores subterráneas. Estos efectos se deben por un lado, a la mala calidad de la masa rocosa y estructura mineralizada, falla, a las características "expansivas" y de "alta deformabilidad" de la roca, y a la presencia del agua. Por otro lado, se tiene esfuerzos inducidos por el

proceso del minado, que no obstante ser de magnitudes relativamente bajas, sin embargo vencen a las muy bajas resistencias de la masa rocosa.

El presente estudio se trata del conocimiento en el uso de pernos de anclaje hydrabolt en el sostenimiento en minería subterránea, su aplicación control y registro de las mediciones, lo que nos permitirá mejorar la metodología del macizo rocoso para tomar medidas de control apropiadas en el tiempo oportuno a un costo óptimo cuando se tengan problemas de altos esfuerzos o deterioro de pernos por influencia de factores de esfuerzos adversos al sostenimiento. En la mina Casapalca el uso de pernos hydrabolt es la alternativa de sostenimiento que garantiza la estabilidad de las labores. En relación a estas consideraciones, se realiza el planteo del presente trabajo de investigación: **“Caracterización geomecánica para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas Compañía Minera Casapalca”**.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema principal**

¿Cómo se determinará la caracterización geomecánica de la masa rocosa para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cómo se realizará la caracterización geomecánica en la masa rocosa de la Compañía Minera Casapalca?
- b) ¿Cómo se analizará los pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca?

## **1.3 DELIMITACIÓN**

### **1.3.1. Delimitación espacial**

El presente trabajo se realiza en la Compañía Minera Casapalca S.A.

### **1.3.2. Delimitación temporal**

El tema de investigación se ha programado su ejecución en periodo de seis meses.

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar la caracterización geomecánica de la masa rocosa para el análisis de pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- a) Realizar la caracterización geomecánica en la masa rocosa de Compañía Minera Casapalca.
- b) Analizar los pernos hydrabolt en el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca.

### **1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

En la mina Casapalca, la complejidad del yacimiento y las condiciones geomecánicas cambiantes, la calidad de roca, presencia de agua subterránea y los esfuerzos inducidos en la masa rocosa; permite el uso de pernos de anclaje y los que más se adaptan son los del tipo hydrabolt, y ello nos permite evaluar el comportamiento de dichos pernos mediante la mediciones bajo distintos escenarios y con mucha facilidad, ya que las deformaciones son evidentes y perceptibles a simple vista; por lo expuesto se justifica el presente estudio por el análisis de deformación del macizo rocoso con respecto a la profundidad y tipo de roca, asimismo, por las pruebas de pull test.

### **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio es un tema relativamente estudiado por los especialistas en geomecánica y sostenimiento de labores subterránea; también, existe poca información de trabajos similares desarrollados en el país; así que, el presente trabajo contribuiría en el cambio de condiciones

preventivas de trabajo seguro de sostenimiento de las labores subterráneas que servirá para proteger a los mineros frente a fenómenos de inestabilidad de la masa rocosa.

## **1.7 MARCO TEÓRICO**

En la actualidad, existe una diversidad de elementos de sostenimiento para la estabilización de rocas, todos ellos orientados en garantizar la seguridad, economía y/o operatividad de una excavación. El uso pernos hydrabolt, en la Mina Casapalca, ha experimentado un grado de crecimiento; sin embargo, el análisis continuo del sistema de sostenimiento evidencia posibilidades de mejora en el uso del perno hydrabolt. A consecuencia de ello se tiene algunos referentes de estudios de tesis y otras informaciones al respecto:

Arca Cordero, Pablo (2012), en su tesis “Análisis de esfuerzos de los pernos hydrabolt para estandarización geomecánica en la construcción de chimeneas con equipo alimak STH – 5E en Consorcio Minero Horizonte S.A.- 2012”, plantea un problema de campo donde se evaluara el número de pernos Hydrabolt, espaciamiento y distanciamiento entre pernos para estabilizar un macizo rocoso abierto por actividad minera. También se determina una tabla Geomecánica teniendo en cuenta los esfuerzos cortantes, principales, comportamiento del macizo rocoso, radio de acción de los pernos Hydrabolt demostrados matemáticamente. Con la finalidad de estandarizar procesos de sostenimiento en la ejecución de estos tipos de proyectos utilizando equipo Alimak. Para una adecuada resolución de

todos estos planteamientos se ha realizado una exhaustiva recopilación bibliográfica de los trabajos relacionados con el tema publicado hasta el momento.

Maldonado Zorrilla Luis (2012), en su estudio “Sostenimiento subterráneo con pernos de anclaje Hydrabolt”; considera, Los pernos Hydrabolt se han desempeñado muy bien desde que se adoptó. De hecho, constantemente se realiza ensayos de arranque en pernos y también a los dos o tres años después de la instalación, y se observa que mantienen la misma resistencia. Estamos más que satisfechos con ellos”. Asimismo, los pernos de anclaje Hydrabolt son de alta tecnología, de gran trabajabilidad y considero que son los anclajes de última generación; aportan dos ventajas: más seguridad e incremento de la productividad.

Ramos Yataco Arturo, (2015), en su exposición: “Sostenimiento en minería subterránea”; hace mención que, en toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo.

Giraldo Paredes Mauro (2013), en su estudio de investigación: “Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca”; de acuerdo al estudio, los resultados de las 51 pruebas realizadas (11 Split Set, 17 Barras Helicoidales, 12 Hydrabolts y 11 Swellex), demuestran que la capacidad de anclaje de los pernos no guarda una relación lineal con sus longitudes, es decir, al duplicar la

longitud de un perno, su capacidad de anclaje no necesariamente será el doble. Asimismo, La elongación de los pernos, tiende a guardar una relación lineal con la carga aplicada.

Los pernos Split Set, Hydrabolt y Swellex muestran un anclaje uniforme al variar las longitudes efectivas de anclaje; mientras que el comportamiento de las Barras Helicoidales es irregular, sobre todo cuando se instalan con cemento. Los pernos de mayor y menor capacidad son respectivamente, los Hydrabolts y los Split Sets, así, para 2 pies de longitud efectiva de anclaje sus capacidades son 15,75 ton y 3,75 ton, respectivamente. Los pernos que muestran menor y mayor elongación son los Hydrabolts y el Split Sets, respectivamente. Asimismo, el costo por metro cuadrado sostenido del más bajo al más alto son respectivamente: Hydrabolt (10,95 \$/ m<sup>2</sup>) y la barra Helicoidal con resina (50,67 \$/ m<sup>2</sup>), según análisis de costos al mes de Abril del 2011, y las condiciones y realidades.

### **1.7.2 Bases Teóricas**

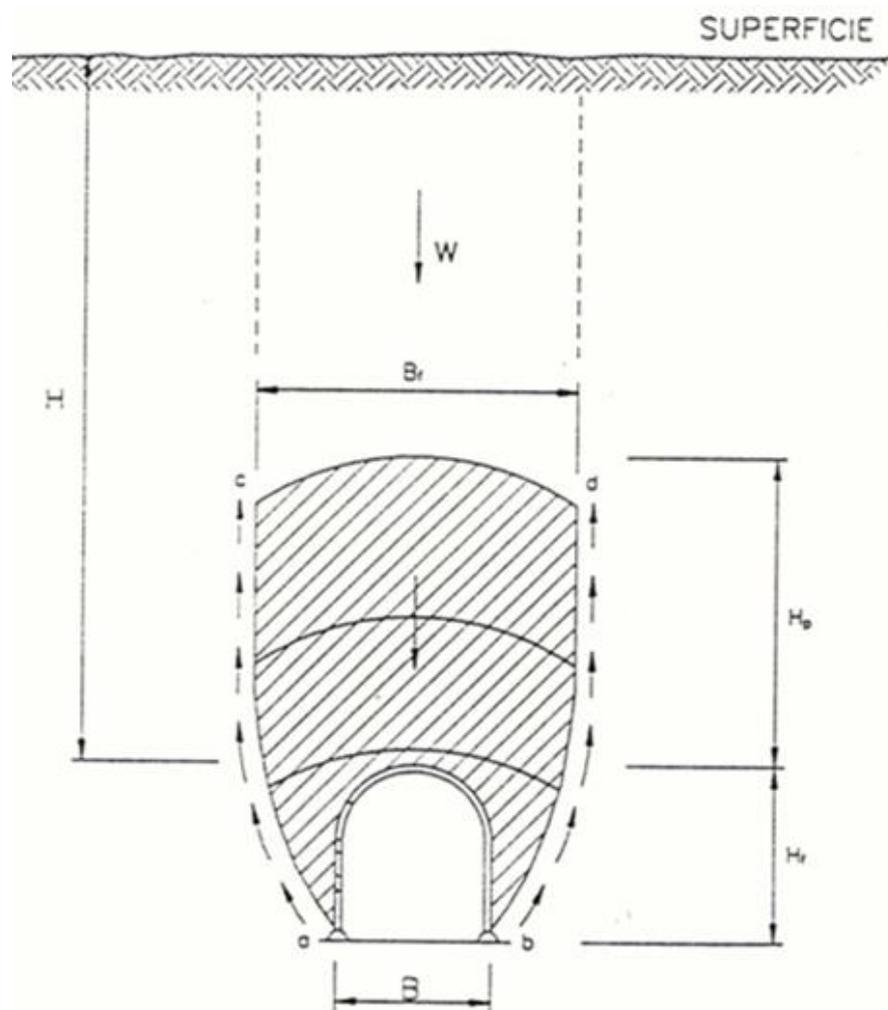
#### **Metodología de Terzaghi (1946)**

Terzaghi propuso esta clasificación para calcular las cargas que deben soportar los marcos de acero en los túneles, donde experimentó en túneles ferrocarrileros con refuerzo de acero en los Alpes.

Terzaghi destaca la importancia de la exploración geológica que deberá hacerse antes que se termine el diseño y sobre todo insiste en conseguir información sobre los defectos en la formación de la

roca. Desde el punto de vista de ingeniería, el conocimiento del tipo de defecto en la roca y en su intensidad puede ser más importante que el tipo de roca que se pueda encontrar. Por lo tanto, durante la exploración hay que dar especial atención a los defectos de la roca. El informe geológico deberá contener una descripción detallada de los efectos observados en términos geológicos, también deberá mencionar la roca defectuosa en términos de tuneléo, como por ejemplo: roca en bloque, junteada, roca que se comprime o expande.”

#### Diagrama de carga de roca sobre un túnel (Terzaghi, 1946)



### CLASIFICACION DE TERZAGHI (1946)

| ESTADO DE LA ROCA                                  | CARGA DE ROCA Hp (pies)                               | OBSERVACIONES   |
|--|---|---|
| DURA Y MASIVA                                      | CERO  | Sólo se necesita refuerzo escaso si hay desprendimiento o chasquido   |
| DURA PERO ESTRATIFICADA O ESQUISTOSA               | 0 a 0.5 B   | Refuerzo escaso más que nada como protección contra desprendimientos  |
| MASIVA, LIGERAMENTE FISURADA                       | 0 a 0.25 B  | La carga puede cambiar en forma errática de un punto a otro.  |
| MEDIANAMENTE FRACTURADA EN BLOQUES ALGO ABIERTOS   | 0.25 B a 0.35 (B + Ht)                                | No hay presión lateral.   |
| MUY FRACTURADA EN BLOQUES Y LAS FRACTURAS ABIERTAS | (0.35 a 1.10) (B + Ht)                                | Poca o ninguna presión lateral.   |
| TOTALMENTE TRITURADAS PERO QUIMICAMENTE INALTERADA | 1.10 (B + Ht)   | Presiones laterales considerables. Los efectos de las infiltraciones hacia el piso del túnel requieren apoyo <u>continuo</u> para las partes bajas de los marcos o bien marco circulares. |
| ROCA COMPRIMIDA PROFUNDIDAD MODERADA               | (1.10 a 2.20)(B + Ht)                                 | Considerable presión lateral. Se requiere plantilla apuntalada. Es preferible usar marcos circulares.   |
| ROCA COMPRIMIDA A GRAN PROFUNDIDAD                 | (2.10 a 4.50)(B + Ht)                                 |   |
| ROCA EXPANSIVA                                     | Hasta 250 pies, independientemente del valor (B + Ht) | Marcos circulares indispensables. En casos extremos, <u>usese</u> refuerzo elástico.  |

### Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979)

El sistema de valoración del macizo rocoso, RMR (Rock Mass Rating), también conocido como Clasificación geomecánica, fue desarrollado por Bieniawski y considera cinco parámetros básicos.

- Resistencia de la roca intacta.
- Designación de la calidad de la roca (RQD).
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Estado de las discontinuidades.
- Condiciones de agua subterránea.



### Clasificación índice de Q

Desarrollada por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir del estudio de un gran número de túneles, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite estimar parámetros geotécnicos del macizo y diseñar sostenimientos para túneles y cavernas subterráneas. El índice Q está basado en una evaluación numérica de seis parámetros dados por la expresión:

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

Donde:

$J_n$  = índice de diaclasado que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

$J_r$  = índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

$J_a$  = índice que indica la alteración de las discontinuidades.

$J_w$  = coeficiente reductor por la presencia de agua.

SRF (stress reduction factor) = coeficiente que tiene en cuenta la influencia tensional del macizo rocoso.

Los tres factores de la expresión representan:

(RQD/ $J_n$ ): el tamaño de los bloques

( $J_r/J_a$ ) : la resistencia al corte entre los bloques

( $J_w/SRF$ ) : la influencia del estado tensional

**Índice de resistencia geológica (gsi)**

En el criterio original se consideran 6 categorías de masas rocosas. Para compatibilizar este criterio con el criterio RMR y las guías de clasificación. El índice de resistencia geológica considera dos parámetros la condición de la estructura de la masa rocosa y la condición superficial de la misma.

- a) La estructura de la masa rocosa considera el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, las cinco categorías consideradas son:

Masiva o levemente fracturada

Moderadamente fracturada

Muy fracturada

Intensamente fracturada

Triturada o brechada.

- b) La condición superficial de la masa rocosa involucra a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración, los cuales se definen de la siguiente manera:

Masa rocosa muy buena

Masa rocosa buena

Masa rocosa regular

Masa rocosa mala

Masa rocosa muy mala.

Asimismo, se considera, que entre los diferentes criterios de clasificación geomecánica existen relaciones matemáticas para su correlación.

### 1.7.3 MARCO CONCEPTUAL

**Alteración.-** Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión: agua, viento, hielo, sol, etc.

**Cartucho de cemento.-** "CEMCOM" es un mortero que contiene una base de cemento portland tipo I y aditivos especiales. Su presentación es en envase plástico pre-perforado. Su aplicación como parte del sostenimiento activo con pernos helicoidales se rige según estándar y procedimiento de colocado de perno helicoidal y perno helicoidal con malla.

**Contacto.-** Contacto litológico, es una línea que separa las rocas de naturaleza diferente o dos unidades litológicas.

**Cohesión.-** El valor de corte requerido para causar el deslizamiento, cuando la tensión normal es cero. Figura XX, ver también ángulo de fricción.

**Discontinuidad.-** Cualquier separación en el continuo de roca que posee nula resistencia a la tracción, puede ser de origen mecánico o sedimentario que separa bloques (o matriz rocosa).

**Equilibrio límite.-** Consisten en comparar las fuerzas desestabilizadoras con las fuerzas resistentes a lo largo de una determinada superficie de ruptura

**Falla.-** Es una discontinuidad que se forma en las rocas superficiales de la Tierra (hasta unos 200 km de profundidad) por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. La zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación va acompañada de un deslizamiento de las rocas tangencial a este plano.

**Geomecánica.-** Encontrar y/o anticipar una solución segura y económica compatible con todas las restricciones bajo las cuales se encuentra el escenario del proyecto (E. Hoek 1996).

**Geotecnia.-** Es la rama de la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra.

**Hydrabolt.-** Es un perno de fricción, de inmediata instalación, al que se le inyecta agua a altas presiones (250-300 Bares). Se expande de los 29mm ( $\Phi$  inicial), hasta los 42mm y debido a su válvula de no retorno, el agua que se mantiene en el interior ejerce presión constante en todo momento, en forma radial a lo largo de la longitud del taladro.

**Macizo rocoso.-** Es el medio in-situ que contiene diferentes tipos de discontinuidades como diaclasas, estratos, fallas y otros rasgos estructurales.

**Mapeo sistemático.-** Registro de las características geomecánicas de las discontinuidades al detalle, en una longitud determinada de masa rocosa.

**Matriz rocosa.-** Material rocoso sin discontinuidades o bloques de roca intacta entre discontinuidades (muestra de mano o mayor). A pesar de considerarse continua es heterogénea y anisótropa, ligada a la fábrica, textura y estructura, mineral.

**Pernos.-** Equipo de sostenimiento aplicado a los macizos rocosos, para estabilizar una excavación subterránea.

**Resina.-** Cartuchos de Resina de doble compartimiento. Son utilizados como encapsulantes para la instalación de pernos helicoidales. Su aplicación como parte del sostenimiento activo con pernos helicoidales se rige según estándar y procedimiento de colocado de perno helicoidal y perno helicoidal con malla.

**Roca.-** Agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes y cartografiables.

**Rock Support.-** Es un software que se usa para determinar la deformación de una excavación subterránea en masas rocosas diaclasadas, permite visualizar la interacción del túnel con varios sistemas de sostenimiento.

**Sostenimiento.-** En toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un

proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo.

**Zonificación geomecánica.-** Proceso de delimitación de zonas en donde la masa rocosa tiene condiciones geomecánicas similares y por lo tanto también comportamiento similar.

## **1.8 HIPOTESIS**

### **1.8.1 Hipótesis general**

Si se realiza la caracterización geomecánica de la masa rocosa entonces se analizará la instalación de los pernos hydrabolt para el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca.

### **1.8.2 Hipótesis específicas**

- A. Mediante la caracterización geomecánica, se determinará los parámetros y la calidad de la masa rocosa en relación a la excavación subterránea.
- B. Con el análisis de la aplicación de los pernos hydrabolt se mejora el sostenimiento de las labores subterráneas.

### **1.8 3 Identificación de variables e indicadores**

Se consideran las siguientes variables:

#### **Variable Independiente:**

X= Caracterización geomecánica de la masa en la Compañía Minera Casapalca.

**Variable dependiente:**

Y= Análisis en la aplicación de los pernos hydrabolt para el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca.

**Indicadores****Variable Independiente:**

X1= Parámetros geomecánicos

X2= Discontinuidades de la masa rocosa

X3= Propiedades geomecánicas

X4= Índices geomecánicos

**Variable dependiente:**

Y1= Capacidad de anclaje

Y2= Pernos hydrabolt

Y3= Sistema de sostenimiento con pernos

**1.9 METODOLOGÍA Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN****1.9.1 Tipo y nivel de investigación**

Por la manera de cómo se desarrolla el estudio, se considera una Investigación tipo de Tecnología Aplicada. Conforma a los propósitos y naturaleza del estudio, la investigación está ubicada en el nivel descriptivo.

### 1.9.2 Diseño de investigación

Por las características de los datos recopilados se utilizará un diseño Descriptivo Simple, recopilando datos primarios del trabajo en campo. Asimismo, Se aplicará el diseño descriptivo del tipo transeccional no experimental, y se evaluarán cada una de las variables que participan en el estudio:

VARIABLES: V1 y V2 (Evaluables)

### 1.9.3 Población y muestra

**Población (N).**- Se considera como población a todas las labores subterráneas operativas de la mina que están relacionadas a la caracterización geomecánica.

**Muestreo.**- Se considera las labores subterráneas de las operaciones mineras en la Compañía Minera Casapalca.

## 1.10 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se efectúan trabajos de campo; revisión y análisis de la información disponible, levantamiento topográfico, reconocimiento geológico, toma de muestras para ensayos de laboratorio, reconocimiento de las labores mineras, mapeo geomecánico. La toma de datos es en forma directa e indirecta; así como las pruebas de Pull test.

## 1.11 TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

### Técnicas

Estos trabajos se orientan al proceso de información de campo, a fin de obtener informaciones básicas sobre los factores en relación a los problemas de inestabilidad de la masa rocosa; asimismo, se evalúa cada

uno de los factores que influyen sobre la inestabilidad, realizando elaboración de planes de trabajo, interpretación de la masa rocosa, análisis de laboratorio, Evaluación de estabilidad, clasificación geomecánica y zonificación geomecánica.

### **Instrumentos**

Los instrumentos de investigación estarán constituidos por la instalación de los pernos hydrabolt y las pruebas de pull test que permitirá realizar las pruebas necesarias en las paredes de las excavaciones subterráneas.

## **CAPITULO II: GENERALIDADES DE LA MINA**

### **2.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

El área de localización de la Unidad Económica Administrativa “Americana” de la Compañía Minera Casapalca S.A., se encuentra en 3 microcuencas: Microcuenca de la quebrada Huaricancha que está limitada por los cerros Yanañau, Yurocshalla y Lauracocha, Microcuenca de la quebrada Magdalena limitada por los cerros Lauracocha, Putca, Chuquiccuco y Paracte y la Microcuenca de la quebrada Pumatarea limitada por los cerros Huaricancha, Lichicocha, Yanañac y Jabonnioc.

Comprendida en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí y departamento de Lima, a una altitud comprendida entre los 4,450 msnm y 5,350 m.s.n.m. Ver Plano N° 2.1.

Geográficamente, se localiza en la zona central Flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los andes, entre las coordenadas UTM:

8 712 000N; 366 000E a 8 704 000N; 366 000E

8 712 000N; 374 000E a 8 704 000N; 374 000E

## Plano N° 1: Ubicación y Acceso



El acceso a la Unidad Económica Administrativa “Americana”, se realiza desde la ciudad de Lima a través de la carretera central, siguiendo las localidades de: Lima – Chosica – Surco – Matucana – San Mateo – Chicla – Casapalca hasta el Km. 115 donde están situadas las instalaciones de la Empresa Minera Los Quenuales S.A., desde este punto existe una carretera afirmada de 8 Km., que sube por la quebrada El Carmen hacia el Sureste, y que conduce a las instalaciones de Compañía Minera Casapalca S.A. El

tiempo de viaje en estas vías es de 3 horas y 20 minutos, según se muestra a continuación en el siguiente cuadro N° 2.1:

**Cuadro N° 2.1**  
**Ruta y Ubicación de Compañía Minera Casapalca S.A**

| De            | A          | Tipo de Vía | Km. | Tiempo (hr) |
|---------------|------------|-------------|-----|-------------|
| Lima          | Casapalca  | Asfaltado   | 115 | 3,00        |
| Los Quenuales | CMC (mina) | Afirmado    | 08  | 0,20        |

## 2.2 CLIMA Y VEGETACION

En la zona minera se aprecian dos estaciones bien definidas: La temporada de lluvias comprendida entre los meses de enero a marzo, caracterizada por fuertes precipitaciones con una temperatura de 10°C, disminuyendo a 0°C con una precipitación anual de 700 mm. La temporada seca el resto del año caracterizado por un clima seco casi en su totalidad, La altitud y sequedad de la atmósfera determinan un alto grado de evaporación, que es relativamente alta, la dirección predominante del viento, especialmente de los vientos fuertes, es desde el Oeste a Este alcanzando velocidades de 30 Km/hora.

La cobertura vegetal en los ambientes naturales es bastante alta siendo pajonal en un 82.50%, matorral y pedregal en un 65% a 88%. Esta zona tiene una pendiente bastante pronunciada.

## 2.3 FISIOGRAFIA

La mina se encuentra situada en el cinturón volcánico de la cordillera occidental andina, muestra un relieve relativamente empinado, cuyas pendientes evidencian profunda erosión. Es evidente que el relieve ha sido modelado por acción glaciaria mostrándose en cotas más elevadas la presencia de nieve perpetua.

El afluente principal de la zona, es representado por el río Rímac surca de Este a Oeste drenando dendríticamente hacia el Océano Pacífico.

## 2.4 RECURSOS

Los recursos con que cuenta la localidad de Casapalca son:

- **Recurso Suelo**

Cuenta con suelos netamente agrícolas a secano y con riego, con frecuencia se encuentran las siguientes especies forestales entre exóticas y nativas que constituyen pequeños bosques de tipo natural, como: mutuy (*cassia hookeriana*), chilca (*baccharis* sp), especies exóticas en porcentaje como: eucaliptos (*eucaliptus glóbulos*), ciprés (*cupressus macro carpa*). Dichas plantas de especies forestales son destinadas para diversas actividades de uso familiar y comunal, especialmente en la construcción de viviendas (techos, vigas, puertas), también como combustible leña en su mayoría.

- **Recurso Pastos Naturales**

Corresponde aproximadamente 80 % de pastos naturales para la crianza de animales; tales como ovinos, vacunos, camélidos (llamas, alpacas), los pastos naturales que predominan en la zona son: Soqlla (*bromus cataharticus*), ichu (*stipa ichu*).

- ✓ **Recurso Hídrico**

La localidad de Casapalca, por su ubicación a orillas del río Rímac, y a faldas de la cordillera de los andes, cuenta con el recurso hídrico suficiente para su consumo e industria minera.

- ✓ **Recurso Mineral**

El Recurso Mineral es la principal fuente de desarrollo en la zona, teniendo como principal objetivo la extracción de minerales poli-

metálicos imponente en todo el asiento minero central de la Cía. Minera Yauliyacu S.A. y Cía. Minera Casapalca S.A. respectivamente.

## **2.5 HISTORIA**

En el año 1,961 La Compañía Minera Cerro de Paseo Corporation adquirió los derechos mineros de la mina Casapalca, explotando sus recursos minerales hasta 1,968 con una producción de 2,500 TM/mes.

En 1,969 el estado Peruano crea la empresa estatal CENTROMIN PERU y adquiere todas las propiedades de la compañía Cerro de Pasco Corporación, incluyendo la mina Casapalca e inicia una nueva modalidad de trabajo. En 1,987 la empresa Centromin Perú cierra operaciones y vende los derechos a la Compañía Minera Casapalca S.A., empresa privada que inicia sus operaciones con una producción de 2,500 TM/mes y continua trabajando con un aumento constante de la producción hasta llegar a una producción de 45,000 TM/mes en el año 2004.

A partir del año 2,005 la Compañía Minera Casapalca inicia un nuevo Programa de ampliación de sus operaciones, mecanizando la zona de cuerpos con equipo Trackles, construcción del Pique Patty en la zona de esperanza, Profundizando el Pique Soledad y Pique 790 en la zona de oroya, renovando el equipo de acarreo y mejorando la productividad de la mina hasta alcanzar una producción record de 100,000 Tm/mes en el año 2007.

Actualmente la Cía. Minera Casapalca, Unidad Americana, viene produciendo 150, 000 TM/mes con perspectivas de alcanzar el fin de año una producción de 180,000 Tm/mes. Con la construcción del Pique Vertical 650 Álex y Pique Vertical 790 Oroya.

## **2.6 ORGANIZACIÓN**

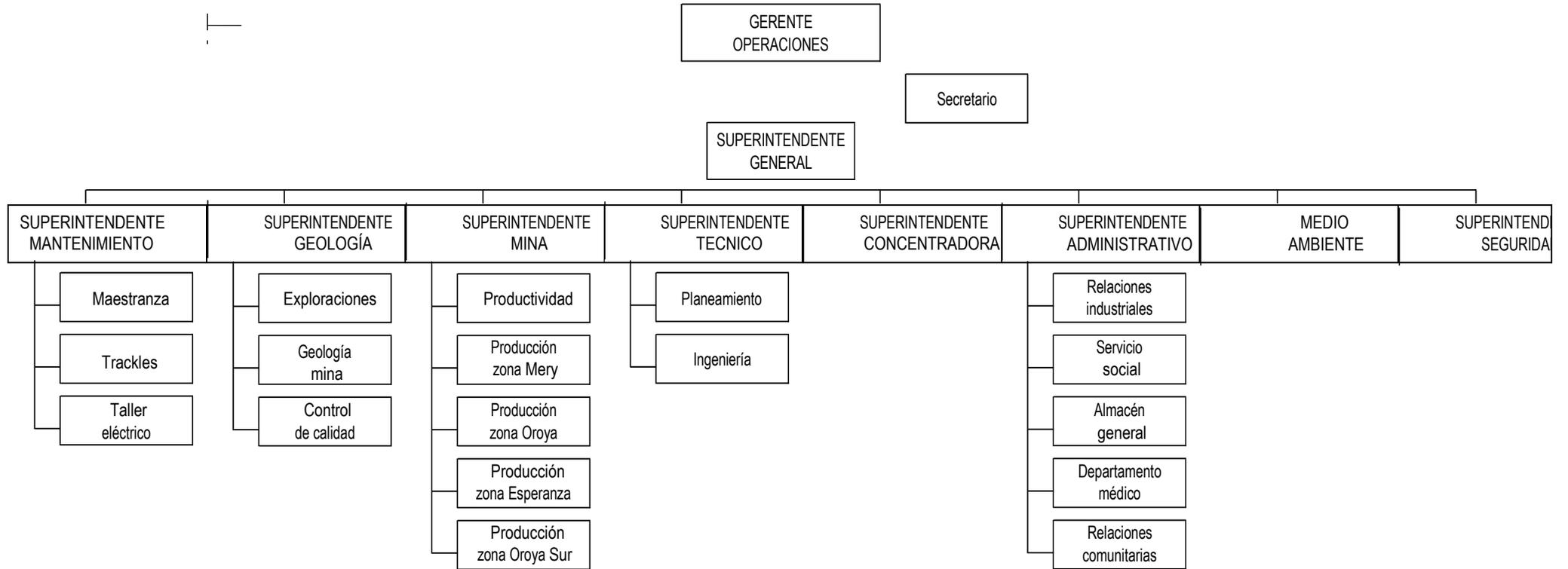
La compañía minera Casapalca S. A., está organizado conforme a los lineamientos de una sociedad anónima, donde las jerarquías y

responsabilidades están claramente definidas y la disciplina mantenida, conforme se puede apreciar en el organigrama mostrado.

Para los trabajos de minado, se ha organizado teniendo como base la organización general y la modalidad de ejecución de los trabajos por compañía y contrata. Las labores de minado, lo realizan personal de compañía como de contrata según su requerimiento y especialidad.

En cuanto a la planificación, diseño, controles técnicos y administrativos, la compañía asume esas responsabilidades para el desarrollo de la operación. Ver gráfico N° 2.1

**Gráfico N° 2.1**  
**ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL ACTUAL DE LA**  
**COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA S.A.**



## **CAPITULO III**

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA MINA**

#### **3.1 GEOLOGÍA REGIONAL**

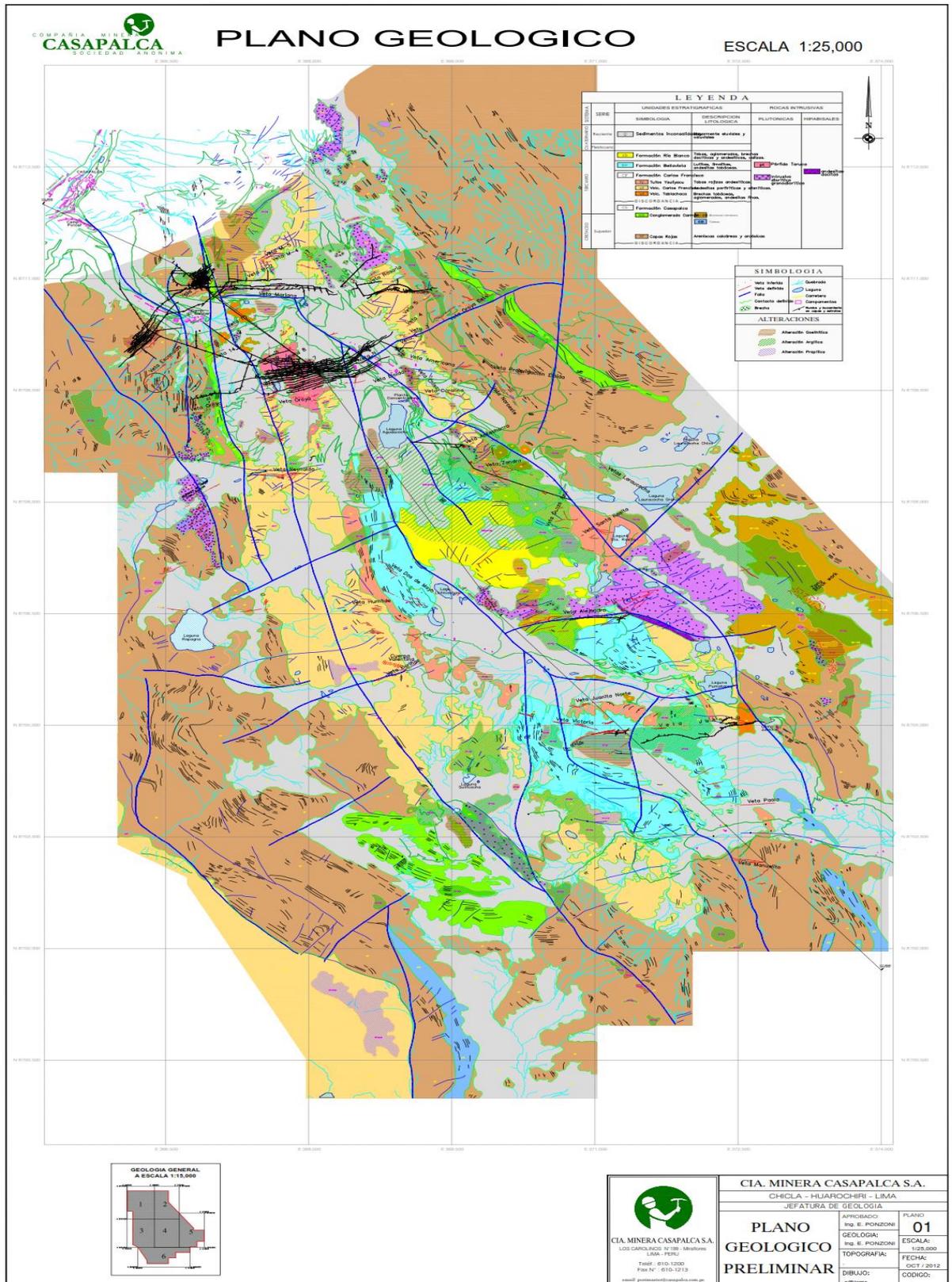
La mina Casapalca se encuentra situada en La secuencia estratigráfica del distrito está constituida tanto por rocas sedimentarias como volcánicas interestratificadas, cuyas edades fluctúan desde el cretácico hasta el cuaternario. La estructura del distrito cuyos ejes se orientan paralelamente a la dirección general del cinturón volcánico de la Cordillera Occidental Andina, cuyo relieve presenta fuertes pendientes y erosión profunda, modelado por la acción glacial y presencia de nieve perpetúa en las cotas más elevadas. (Ver plano geológico N° 3.1).

##### **3.1.1 Estratigrafía**

La Columna estratigráfica de la región está conformada principalmente por areniscas, lutitas calcáreas, calizas, brechas, rocas volcánicas, tufos y lavas, las cuales alcanzan un espesor aproximado de 5,400 m. (Ver lámina N° 3.1).

A continuación se describe las Formaciones Geológicas del área circundante a la mina Casapalca.

### Plano Geológico N° 3.1



Fuente: Departamento de Geología.

### Lamina N° 3.1: Columna Estratigráfica

| ERATEMA               | SISTEMA               | SERIE               | UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA | GROSOR (m)            | LITOLOGÍA  | DESCRIPCIÓN  |   |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|--|--|---|
| CENOZOICA             | CUATERNARIO           | HOLOCENA            | Depósitos aluviales       |                       |  | Arenas, gravas y limos.  |   |
|                       |                       | PLEISTOCENA         | Depósitos glaciares       |                       |  | Morrenas   |   |
|                       | NEÓGENO               | PLIOCENA            | Grupo Jauja               | Formación Matala      | 50   |  | Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.         |
|                       |                       |                     |                           | Formación Ushno       | 100  |  | Conglomerados fluviales.                                    |
|                       |                       |                     | Formación Inghuasi        | 50                    |  | Tobas blancas calcáreas.   |   |
|                       |                       |                     | Formación Yanacancha      | 250                   |  | Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.                                   |   |
|                       | PALEÓGENO             | MIOCENA             | Formación Huarochiri      | 400                   |  | Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.              |   |
|                       |                       |                     | Formación Millotingo      | 400                   |  | Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas                             |   |
|                       |                       | OLIGOCENA           | Formación Castrovirreyna  | 150                   |  | Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.                       |   |
|                       |                       |                     | Grupo Sacsaquero          | 2015                  |  | Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas                      |   |
|                       |                       | EOCENA              | SUP.                      |                       |  |  | Andesita / Riolita  |
|                       |                       |                     | MED.                      | Formación Tantará     | 100  |  | Derrames andesíticos a riolíticos, gris verdoso.            |
|                       | PALEOCENA             |                     |                           |                       |  | Disc. eros.  |   |
| MESOZOICA             | CRETÁCEO              | SUPERIOR            | Formación Casapalca       | 4000                  |  | Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo.                 |   |
|                       |                       |                     | Formación Celendin        | 400                   |  | Dioritas.  |   |
|                       |                       |                     | Formación Jumasha         | 400                   |  | Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.                       |   |
|                       |                       | INFERIOR            | Formación Pariatambo      | 120                   |  | Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.                            |   |
|                       |                       |                     | Formación Chulec          | 220                   |  | Calizas, lutitas de color negro fétido.                                      |   |
|                       |                       |                     | Formación Pariahuanca     | 260                   |  | Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.                          |   |
|                       |                       |                     | Grupo Goyllarisquiza      | Formación Farrat      | 700  |  | Calizas y margas calcáreas.                                 |
|                       |                       |                     |                           | Formación Carhuaz     | 450  |  | Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.                |
|                       |                       | Formación Santa     |                           | 100                   |  | Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.                          |   |
|                       |                       | JURÁSICO            | MEDIA                     | Formación Chaucha     | 300  |  | Caliza gris y arrollitas abigarradas.                       |
|                       | Formación Cercapuquio |                     |                           | 322                   |  | Cuarcoitas grises con intercalaciones de material bituminoso.                |   |
|                       | INFERIOR              |                     | Grupo Pucara              | Formación Condorsinga | 1000   |  | Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas.       |
|                       |                       | Formación Aramachay |                           | 400                   |  | Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.                        |   |
|                       | Formación Chambará    | 300                 |                           |                       | Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.                                    |  |   |
|                       | TRIÁSICO              | SUPERIOR            |                           |                       |  | Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas. |   |
|                       | PALEOZOICA            | PERMIANO            | SUPERIOR                  | Grupo Mitu            | 1700   |  | Calizas micríticas con nódulos de chert.                    |
|                       |                       |                     | INFERIOR                  | Grupo Copacabana      | 150  |  | Disc. ang.  |
| CARBONÍFERO           |                       | SUPERIOR            | Grupo Tarma               | 1300                  |  | Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos.         |   |
|                       |                       | INFERIOR            | Grupo Ambo                | 900                   |  | Intrusivos y brechas volcánicas.   |   |
| DEVONIANO             |                       | SUPERIOR            | Grupo Cabanillas          | 780                   |  | Areniscas, calizas y lutitas de color brunoáceo.                             |   |
|                       |                       | MEDIA               |                           |                       |  |  | Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas |
| SILURIANO ORDOVICIANO |                       | INFERIOR            |                           |                       |  | Monzogranitos, granitos.   |   |
|                       |                       |                     |                           |                       |  | Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.                    |   |
|                       |                       |                     |                           |                       | Secuencias tipo flysh con areniscas, lutitas y pizarras  |  |   |
|                       |                       |                     |                           |                       | Disc. ang.   |  |   |
|                       |                       |                     |                           |                       | Filitas con escasas intercalaciones de cuarzo, negro grisáceas, basaltos, metatoba y mármoles. |  |   |

Fuente: Departamento de Geología

**a) Formación Goyllarisquisga**

Son las rocas más antiguas reconocidas en el distrito, constituida por cuarcitas de color blanco de grano fino con intercalaciones y mantos de carbón. Su afloramiento se ha reconocido solo en la quebrada Huayamay o Carboynacu, cerca de la entrada del túnel Graton.

**b) Formación Machay**

Se encuentra en concordancia sobre la formación Goyllarizquisga, constituida por calizas gris claras, también llamadas Calizas Jumasha. También afloran en la vecindad del túnel Graton.

**c) Formación Bellavista**

La formación Bellavista consiste en una serie de tufos volcánicos intercalados con calizas grises. En los niveles inferiores de la Mina Casapalca se encontró unos horizontes de anhidrita intercalados con lutitas.

**d) Formación Río Blanco**

La formación Río Blanco consiste en una serie de tufos bien estratificados que descansa concordantemente sobre la formación Bellavista. Los volcánicos de Río Blancos debe ser una de las rocas más jóvenes del Perú.

**e) Formación Casapalca:**

Aflora en el sector norte y sur del campamento Carmen, constituye la formación más antigua que aflora en el área y forma el amplio anticlinal Casapalca que es cortado por el río Rímac. Esta formación está compuesta por una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental y se divide en dos miembros:

✓ **Miembro Capas Rojas**

Se caracteriza por presentar intercalaciones de lutitas y arenisca calcáreas con coloraciones rojizas debido a las diseminaciones de hematita.

✓ **Miembro Carmen**

Sobre yaciendo a las capas rojas se encuentra una serie de paquetes de conglomerados y calizas intercaladas con capas de areniscas, lutitas, tufos y aglomerados volcánicos con una potencia que varía de 80 a 200 m.

**f) Formación Carlos Francisco:**

Aflora en el sector este del campamento Carmen, compuesta por rocas volcánicas que supra yacen discordantemente a la formación Casapalca. Esta formación ha sido dividida en:

✓ **Volcánicos Tablachaca**

Se caracteriza por presentar rocas volcánicas porfiríticas de color gris-rojizas del tipo andesítico.

✓ **Volcánicos Carlos Francisco**

Se caracteriza por presentar rocas volcánicas afaníticas tipo andesítico, de color gris principalmente.

✓ **Tufos Yauliyacu**

Son tufos volcánicos de color rojizo intenso los cuales supra yacen al miembro Carlos Francisco.

**g) Formación Bellavista:**

La formación Bellavista está constituida por calizas, tufos y lutitas, esta formación también consiste de capas delgadas de calizas de color gris.

### **3.1.2 Rocas Ígneas**

Las rocas ígneas, provienen de los magmas, que se pueden definir como la materia rocosa fundida, los magmas expulsados por los aparatos volcánicos (lavas) se encuentran compuestos por una compleja fase líquida solicitada que en muchos casos predominan.

#### **A. Características de las rocas ígneas plutónicas (intrusivas).**

Son rocas ígneas cuya composición mineralógica indica que la cristalización se ha realizado en condiciones de enfriamiento lento a profundidad no inferior a varios centenares de metros hasta los 20 km. Las masas de rocas plutónicas varían enormemente en forma y en extensión, los más pequeños son diques y venas de algunos centímetros de ancho, los mayores afloran en forma continua en extensiones que se miden en centenares de km.

Las rocas intrusivas en el distrito de Casapalca son de carácter hipabais y muy jóvenes y semejantes entre sí. Esencialmente ocurren como diques o pequeños stocks de andesita porfirítica que intuyen al pórfido Carlos Francisco como el caso del Pórfido "Taruca" o las Capas Rojas como la "Andesita Veintiuno" el "Pórfido Victoria" y el "Pórfido Diorítico del Monte Meiggs", al NE del distrito. Además comprende cuerpos pequeños, hipabisales y sills de diorita, tonalita y andesita que afloran en el SW del campamento.

#### **b) Características de las rocas volcánicas (extrusivas)**

Son rocas ígneas cuya composición mineralógica indica que la cristalización se ha realizado en condiciones de enfriamiento de grado medio ocurrido en la superficie terrestre. Varías en espesor desde unos cuantos centímetros a varias decenas de metros y rara vez superan en longitud el centenar de km.

### **3.1.3 Depósitos Cuaternarios**

En la región Casapalca existen una serie de depósitos glaciares y conos de escombros de formación reciente. Estos son:

#### **a) Depósitos Glaciares**

Comprende a los depósitos morrénicos antiguos y recientes que se encuentran en las cabeceras de los valles o cubriendo el fondo o márgenes de los mismos.

#### **b) Depósitos Fluvio glaciares**

Corresponde al material acarreado por los ríos o quebradas, guardando relación con el proceso erosivo; como consecuencia se han formado terrazas de material aluvial en los márgenes de los ríos y los más recientes en el lecho.

#### **c) Depósitos Coluviales**

Se encuentran al pie de las escarpas de las laderas de los cerros como material de escombros constituido por gravas y bloques sub-angulosos, con matriz arenosa y limosa.

#### **d) Depósitos Reciente**

Formado por materiales consolidados de clastos angulosos de diversos tamaños, que forman conos y taludes.

## **3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

### **3.2.1 Anticlinales- Sinclinales**

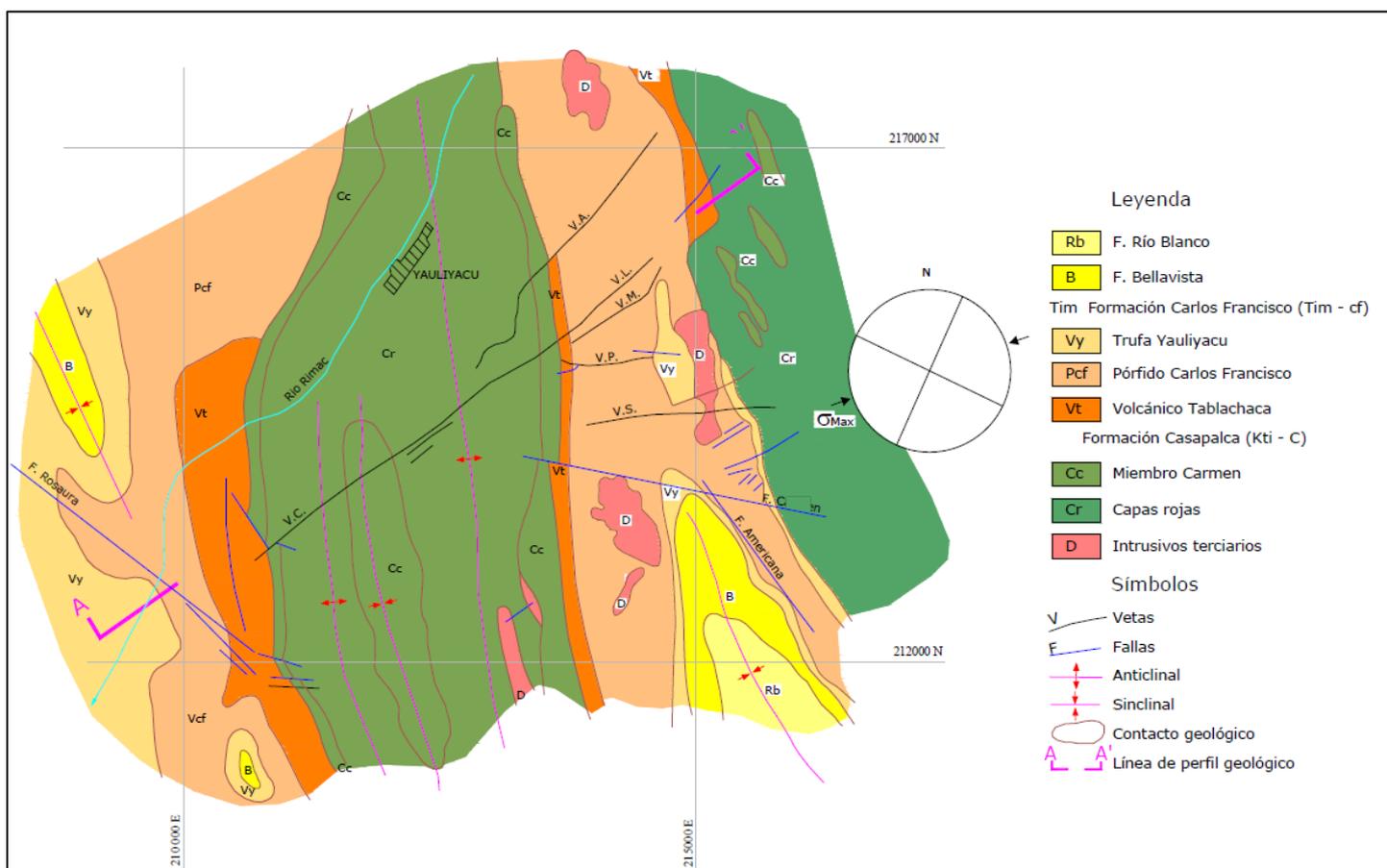
Los más importantes, son el gran sinclinal Pumatará - Aguascocha, el anticlinal Casapalca y el anticlinal de Antupuquio, todos con una dirección NW -SE. Este conjunto de plegamientos controlan todo el fallamiento y fracturamiento transversal al eje del sinclinal, que es la

principal estructura, debido a que la mineralización se realizó en estas estructuras. (Ver figura N° 3.1).

### 3.2.2 Fallas y Fracturas

Las estructuras más importantes en el distrito minero de Casapalca, son las fallas perpendiculares al eje del sinclinal Pumatará - Aguascocha, las cuales tienen dirección N-S y se encuentran rellenas por soluciones hidrotermales. (Ver figura N° 3.1).

**Figura N° 3.1: Geología Estructural**



**Fuente:** Departamento de Geología

### **3.3 GEOLOGIA LOCAL**

La mineralización está formada por una secuencia plegada de sedimentos cretáceos continentales, en los extremos Este y Oeste de la mina, conocidos como Formación Casapalca, con dos miembros litológicos: el miembro inferior "Capas Rojas Casapalca", formado por areniscas, limonitas y lutitas rojizas, con algunos niveles de calizas blanquecinas y el miembro superior conocido como conglomerado Carmen formado por areniscas arcillosas silicificadas de color rojizo, blanqueadas por efecto de la alteración hidrotermal, con algunos horizontes lenticulares de conglomerados.

También las vetas en las Capas rojas forman pequeños lazos sigmoide y fracturamientos con relleno de mineral y en el conglomerado Carmen forman cuerpos de mineral relleno de la matriz de los conglomerados. Asimismo, se presenta un conjunto de derrames volcánicos andesíticos e intrusiones subvolcánicas que en conjunto afloran en la parte central y superior de Casapalca. Intrusiones hipabisales, dioríticas, porfiríticas a granodioríticas, se presentan en el sector central y noreste de la zona de vetas, conocidos como Pórfidos Taruca y Victoria. En estos volcánicos de la formación Carlos Francisco e intrusivos se encuentra la mineralización de vetas, en la cual presentan ensanchamientos y ramales mineralizados.

Al Sur, en la parte alta y formando parte de un sinclinal, se presentan afloramientos de calizas grises de la Formación Bellavista. Estas rocas también se fracturan favorablemente para el emplazamiento de vetas con mineralización económica.

### **3.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA**

#### **3.4.1 Génesis y Paragénesis**

La mina Casapalca es un yacimiento poli metálico del tipo "cordillerano" con minerales, cuya génesis es a partir de los fluidos hidrotermales que traen los iones metálicos y rellenan las fracturas

con sulfuros y sulfosales Ag, Pb, Zn y Cu, dando lugar a vetas y cuerpos mineralizados.

### **3.4.2 Mineralización**

En la zona de las vetas, la mina Casapalca es productora de plata (tetrahedrita, freibergita), de plomo (galena), zinc (esfalerita), y cantidades menores de cobre (calcopirita), los cuales son los minerales de mena de mayor abundancia. Los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita, rodocrosita y cuarzo.

En la zona de cuerpos, la mina Casapalca es productora principal de zinc (Marmita y Esfalerita) y en menor cantidad plata (tetrahedrita), plomo (galena) y cobre (calcopirita). Los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo.

### **3.4.3 Zoneamiento**

El zoneamiento más definido es en dirección horizontal, en la vertical está relacionado a la presencia de argentita, pirargirita y otras sulfosales acompañadas de pirita y cuarzo en los niveles superiores de la mina.

De acuerdo a estudios realizados por H. E. Mackinstry, J. A. Noble y otros, basados en cambios mineralógicos relacionados a las temperaturas de formación de los minerales y en la extensión e intensidad de la alteración de las rocas encajonantes, determinaron tres zonas, cuyas características son las siguientes:

- a) El mineral consiste de abundante esfalerita con poca galena y tenantita ( $As_4S_{13}$  (Cu, Fe, Zn, Ag) 12, calcopirita ( $S_2CuFe$ ) es común, la pirita está presente en cristales cúbicos, huebnerita ( $W_04Mn$ ) y arsenopirita ( $SFeAs$ ) se encuentran ocasionalmente.

- b) Los minerales de ganga son: cuarzo y calcita. La calcita pura ocurre en los extremos de la zona. Las rocas de la formación Casapalca están fuertemente silicificadas, además presentan disseminaciones de pirita cúbica y nódulos de epidota. La zona de alteración se extiende aproximadamente 400 m. de las vetas.

#### **3.4.4 Alteraciones**

Alteración Hidrotermal, la alteración de las rocas encajonantes muestra una estrecha relación con la distribución zonal de los minerales. La roca está intensamente silicificada y piritizada hasta una distancia de 400 m. fuera de las vetas, luego la alteración decrece hasta aproximadamente 30 m. y en algunas zonas es solamente de algunos centímetros.

Desde el punto de vista general, la alteración de la roca encajonante sigue una secuencia normal, que va de la propilitización a cierta distancia de las vetas a la piritización, sericitización y silicificación cerca de ellas. Las rocas volcánicas extrusivas, en las zonas de mayor alteración (cerca de la veta), son de color gris claro conformadas por cuarzo, pirita y feldespatos alterados a sericita, no siendo estos distinguibles macroscópicamente. A mayor distancia de la veta, la epidotización es común y los cristales de feldespatos son visibles. Los ferro magnesianos son alterados a clorita y epidota con presencia de pirita.

Las capas rojas y los conglomerados en la zona central de la mina, están intensamente alteradas, extendiéndose la silicificación y piritización por varias docenas de metros. La pirita se presenta en cristales cúbicos y en delgadas vetillas hacia el sur, en la sección aguas calientes, la alteración es menos intensa. La roca se presenta blanqueada hasta unos 10 a 15 m. en las proximidades de las vetas, la silicificación no es muy intensa. En las zonas de alteración moderada la roca está epidiotizada.

### 3.4.5 Estructuras Mineralizadas

#### a) Vetas:

En la zona se presentan varias vetas casi paralelas, siendo las principales:

##### 1. Veta Esperanza

La veta aflora en forma continua en unos 520 m. de longitud continuando al SW en fractura y cobertura aluvial y hacia el NE bajo cobertura coluvial y aluvial. Las características de esta veta son:

**Tipo** = Filoneano, Cimoidal.

Visible = 520 m.

Potencia = 0.10 - 1.50 m.

Rumbo = N 45° - 70° E.

Buzamiento = 65°- 88°NW.

Mineralización = Galena, Blenda, Cuarzo, Óxidos de manganeso.

Alteración = Piritizada, acción de pirita.

En el sector central del afloramiento presenta un lazo cimoidal de unos 230 m. de longitud con un ramal principal al piso, uno al centro y otro al techo, estos últimos entrelazados, destacando como estructura y por su potencia el ramal entrelazado que nace en el ramal centro y continúa en el techo en una longitud de afloramiento visible de unos 100 m. y potencia de 0.50 - 1.50 m. con abundante cuarzo y óxidos de manganeso. Destaca también un área de unos 40 x 30 m. con

diseminación y vetillas con pirita y limonitas, ubicado en la base del ramal cimoide piso o veta principal.

- **Veta Esperanza.** - Esperanza: veta angosta reconocida en 1.50 km de longitud, con rumbo N35° - 40°E, con buzamiento 72° - 75°NW, potencias de 0.30 - 0.70 m con mineralización de tetraedrita, galena, esfalerita y como ganga carbonatos, la roca caja consiste en capas de arenisca y lutitas pertenecientes a la formación Casapalca.
- **Veta Esperanza piso - Esperanza:** Estructura angosta, lazo cimoide de la veta Esperanza con rumbo N 50°E y buzamiento 73°NW, potencia de 0.20 - 0.60 m con mineralización de tetraedrita, galena, esfalerita y como ganga carbonatos, la roca encajonante conformada por areniscas perteneciente a la formación Casapalca.
- **Veta Mariana- Mercedes- Mariana:** Veta de 3.5 km de longitud con rumbo E -W, con buzamiento 54°- 60°N potencia variables de 0.40-1.50 m con mineralización de tetraedrita, galena, esfalerita y como ganga carbonatos, la roca encajonante son las areniscas y lutitas de la formación Casapalca y volcánicos andesítico porfirítico de la formación Carlos Francisco.
- **Veta Escondida- Esperanza:** Veta angosta con rumbo N 45°E y buzamiento 60° - 75°NW con potencia variables de 0.20 - 0.40 m con mineralización de tetraedrita, galena, esfalerita y como mineral de ganga cuarcita, calcita y pirita. La roca caja es volcánico andesítico, porfirítico, de la formación Casapalca.

## 2. Veta Oroya

Tiene una extensión de 1,300 m. desde el extremo oeste hasta el punto de inflexión (coordenada N 879650, E 368250), aquí se inician dos ramales: Ramal Nor-Este que corresponde a la veta Oroya 1, veta Oroya Este, la cual alcanza una extensión de 1,400 m. Ramal Sur - Oeste, que corresponde a la veta Oroya principal Americana, prolongación Eloida, alcanza una extensión de 1,500 m. Además la veta Oroya principal presenta un gran lazo cimoide que da origen a dos ramales veta Oroya Piso y veta Oroya Techo respectivamente. Igualmente el punto de inflexión de las vetas se encuentra muy cerca de la falla Eloida que complica el aspecto estructural de las vetas.

- **Veta Oroya - Oroya:** Estructura con rumbo N50°- 85°E buzamiento 60°62°NW; con desarrollo de galerías se ha reconocido 2 km en su rumbo y 900 m de altura, su roca encajonante es volcánico andesítico, textura porfirítica, color gris oscuro a claro. La veta oroya presenta potencia variable de 0.40 - 5.0 m. su mineralogía económica está constituida por tetraedrita, galena, esfalerita y como ganga carbonatos.
- **Veta Oroya Piso - Oroya:** estructura reconocida en longitud de 1 km y altura de 600; presenta rumbo N50°- 85°E y buzamiento 68°- 72°NW; está emplazada en roca volcánica andesítica, textura, porfirítica de color gris oscuro a claro del miembro Carlos Francisco, al extremo Este la roca encajonante son tufos claro a rojos. La veta oroya piso presenta potencias de 0.30 - 6.0 m con mineralización de esfalerita, galena, tetraedrita, calcita y rodocrosita.

- **Veta Oroya CT - Oroya:** Estructura adyacente al techo de la veta oroya, en sectores donde presenta grandes potencias y donde la mineralización económica se emplaza en los hastiales techo - piso, tienen rumbo N80° 85°E, buzamiento 63°NW, roca encajonante volcánico, andesita; textura porfirítica, color gris oscuro a claro, con horizontes ligeramente argilizados, con potencia variables de 0.50-0.90 m con mineralización de tetraedrita, galena, esfalerita, pirita y carbonatos.
- **Veta Tensional - Oroya:** Es una veta con rumbo N70° - 75°W, buzamiento 63° - 65°NE con potencia promedio de 0.20 - 1.70 m; litológicamente esta estructura tiene como roca encajonante a la andesita porfirítica con horizonte de tufos de color gris oscuro a verde claro. Su mineralización es tetraedrita, esfalerita y como ganga carbonatos.

### **3. Veta Don Reinaldo.**

Es una estructura que alcanza aproximadamente los 3,200 m. con un afloramiento definido de 500 m. en el sector Sur- Oeste y con 150 m. en el sector Nor-Este en la zona de Antachacra, gran parte de la veta está cubierto con material morrénico coluvial, en algunos casos la fractura es angosta especialmente en las zonas altas, sobre los 5,000 m. de altura en el cual es difícil esperar mineralización ni estructuras anchas.

### **4. Veta Juanita**

En el extremo sur del distrito minero de Casapalca, se presenta la veta juanita, cuya extensión alcanza los 2,000 m. además tiene un ramal de 900 m. de extensión, conocida como la veta victoria. Hacia el oeste de la B.M. del nivel 4,500, la veta juanita aflora en forma discontinua, otros 450 m. hasta las

coordenadas N 8'705,400; E 374,300, por consiguiente la veta juanita en forma independiente alcanza los 2,400 m.

## B. Cuerpos:

- **Cuerpo Esperanza:** Cuerpo con disseminación de sulfuros concordantes con la estratificación de areniscas del miembro Capas Rojas, con rumbo N00°- 20°W, buzamiento 60°- 70°SW, está emplazada inmediatamente al techo de la veta Esperanza, presenta área mineralizada de hasta 80 m de longitud, 45 m de potencia y 300 m de altura. La mineralización está compuesta principalmente por Esfalerita, en pequeña proporción calcopirita, pirita y galena asociado a franjas de epidota y areniscas calcitizada.
- **Cuerpo Esperanza Piso:** Similar al cuerpo esperanza es un depósito de sulfuros disseminados concordantes con la estratificación de arenisca epidotizada y piritizada del miembro Capas Rojas, presenta rumbo general N5°W, buzamiento 68°SW, está emplazada al piso de la veta Esperanza; en el tajo 25 del nivel 10 presenta 28 m de longitud y ancho de hasta de 12m.
- **Cuerpo Emilia:** Ubicado en arenisca del miembro Capas Rojas, al piso en la veta esperanza, presenta forma irregular la disseminación de sulfuros en arenisca, piritizadas y cloritizadas. Este cuerpo está asociado a la veta Esperanza, el cuerpo Emilia está al piso de la veta.
- **Cuerpo Mery:** Ubicado en el miembro Capas Rojas entre las vetas Mariana techo y Esperanza. Presenta una irregular disseminación de sulfuros en areniscas epidotizadas y piritizadas con rumbo N12°- 25°W, en niveles altos está asociado a las vetas 04 y Q. este cuerpo se ha trabajado en 230 m de altura con áreas de considerables y muy variables.

- **Cuerpo Anita:** Este cuerpo emplazado inmediatamente al norte del cuerpo Mery, también en areniscas epidotizadas y piritizadas del miembro Capas Rojas, en varios niveles se nota que forma un solo cuerpo en el cuerpo Mery.
- **Cuerpo Micaela:** Emplazado en el miembro Capas Rojas, su mineralización consiste de diseminación y parches de esfalerita, calcopirita, tetraedrita y pirita; también como relleno de fracturas con rumbo N60°- 75°W, buzamiento de 75°- 80°SW, con relleno de cuarzo, carbonatos, esfalerita, pirita, calcopirita y tetraedrita.
- **Cuerpo Sofía:** Depósito de sulfuros diseminados en arenisca del techo de las capas rojas, como control estratigráfico, está al piso del conglomerado base del miembro El Carmen, y al piso del cuerpo se tiene arenisca de grano fino del miembro Capas Rojas. El rumbo del paquete de arenisca del cuerpo Sofía es N00°- 23°W, su longitud llega hasta 95 m y su ancho hasta 20 m, se ha reconocido una altura de 170 m.
- **Cuerpo Sorpresa:** Ubicado en la base del miembro El Carmen; es un depósito de sulfuros diseminados concordante con horizonte de conglomerado calcitizado, epidotizado y piritizado, con rumbo N00° - 23°W, longitud de hasta 60 m, potencia hasta de 7 m y altura reconocida hasta de 200 m.
- **Cuerpo Negrita:** Es un depósito por relleno de cavidades y reemplazamiento, la estructura que se ha relleno presenta rumbo paralelo a la estratificación, con minerales masivos de esfalerita, calcopirita, pirita, galena y eventualmente tetraedrita, se ha reconocido 2 m de ancho, de 50 m de longitud y hasta de 150 m de altura.
- **Cuerpo Vivian:** emplazado en el miembro El Carmen, depósito de sulfuros diseminados concordantes con horizonte

de conglomerado epidotizado, piritizado y calcitado, con rumbo N00° - 25°W, reconocido hasta 110 m de longitud, potencia hasta de 3 m y hasta de 200 m de altura.

- **Cuerpo Patty:** Emplazado en el miembro El Carmen, con sulfuros diseminados concordantes con la estratificación que presenta rumbo N00° - 40°W, reconocido hasta de 3 m de potencia, 100 m de longitud y 50 m de altura.
- **Cuerpo Carmen:** emplazado en el miembro El Carmen, cuerpo con diseminación de sulfuros concordante con la estratificación de areniscas y conglomerados, su mineralización está compuesta por esfalerita y calcopirita, en menor proporción tetraedrita y galena como minerales de mena, los minerales de ganga son piritita, cuarzo y carbonatos; el rumbo de las bandas mineralizadas y epidotizadas es de N07° - 30°W con buzamiento de 73°- 85°E, reconocidas hasta de 15m de potencia, 100m de longitud y 100 m de altura.
- **Cuerpo Escondida:** Cuerpo mineralizado con sulfuros diseminados en horizonte de conglomerados de la secuencia intermedia del miembro El Carmen, su mineralogía está constituida por esfalerita, calcopirita, tetraedrita, galena, piritita, cuarzo y carbonatos; el rumbo es de N26° 30°W.
- **Brechas.-** La mineralización en las brechas estarían relacionadas a las fracturas que pasan por la brecha. Estas fracturas sirven de conducto a través del cual circularon las soluciones hidrotermales. La brecha hidrotermal Huayracancho puede tener importancia si está controlada por fallas que serían el conducto a través del cual pueden ascender soluciones mineralizantes cuando las circunstancias lo permitan se podría explorar con perforación diamantina.

- **Mantos.-** En la zona de Oroya Este se presenta un manto de 1.2 m. de ancho reemplazando a horizontes de lutitas calcáreas y margas que se extienden pocos metros al norte y al sur respectivamente desde la Veta 5 que sería el conducto a través del cual ascendieron las soluciones. El afloramiento de estos mantos contiene óxidos de manganeso, el contenido de manganeso tienen relación directa con el contenido de lata.

### 3.5 CUBICACIÓN

Las reservas de minerales cubicadas al 31 de diciembre del 2,016 en vetas y cuerpos ascienden a (4'980,472 T.M.S.); tonelaje menor en 630,998 T.M.S. con relación al cubicado al 31 de diciembre del 2,013 (5'611,470 T.M.S.); que sumado al mineral producido al 31 de diciembre del 2016 (1'780,490 T.M.S.); da una ganancia real de 1'180,490 T.M.S.; y al dividir este resultado entre el avance realizado en exploraciones y desarrollos (13,073.41 m.); el ratio obtenido es de 88 T.M.S/m.

Las reservas han disminuido -11% con relación al volumen del año anterior; porque los avances en exploraciones y desarrollos (13,073.41 m.) ha cumplido solamente el 60% del programado (21,845 m); otras causas para la merma de reservas es el bajo ratio de cubicación obtenido en la zona de Cuerpos Mery, perdida de reservas y nulo ratio de cubicación en las zonas de Cuerpos Carlos y Esperanza.

## **CAPITULO IV: MINERIA**

### **4.1 LABORES MINERAS**

La mina cuenta con 03 accesos principales, uno en la parte baja a la altura del Campamento Potosí a través del túnel Gubbins (XC - 800 NE) del nivel 4 a una altura de 4,225 m.s.n.m., otro en la parte mediana a la altura de acceso al campamento Carmen a través del túnel Álex (XC - 390 NE) del nivel 1 a una altura de 4,300 m.s.n.m. y el otro en la parte alta a la altura del campamento Carmen (XC- 435) del nivel 435 a una altura de 4,440 m.s.n.m., donde también se encuentran ubicadas las instalaciones industriales de la empresa.

La mina presenta 18 niveles desde el nivel 435 al nivel 18, con una diferencia de altura de 900 metros y se viene explotando hasta el nivel 17 además se divide en 4 zonas principales: Gubbins, Cuerpo Mery, Esperanza y Oroya siendo la zona de Esperanza y Oroya donde se presenta los mejores valores de plata, especialmente en profundidad.

El nivel 1 túnel Álex (XC - 390 NE), por donde se extrae el 60% de la producción utilizando el pique 650 con skip de 10 TN hasta las tolvas de superficie, el otro ubicado en el nivel 435 (XC- 435), por donde se extrae el 30% de la producción utilizando el pique 790 Cop skip de 5 TN hasta las tolvas de superficie y túnel Gubbins (XC - 800 NE) del nivel 4 por donde se extrae el 10% de la producción y una flota de 25 Volquetes de 25 TN para el transporte hasta la planta de beneficio.

## 4.2 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUBLEVEL STOPING

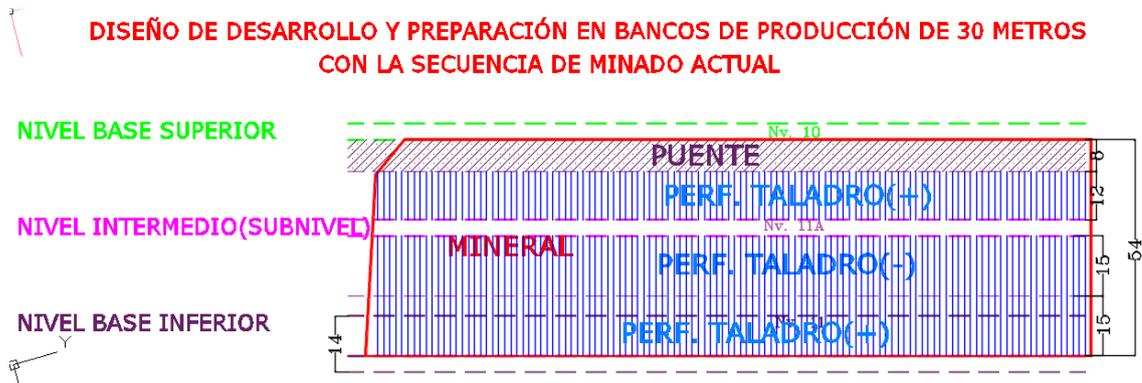
El método de explotación Sublevel Stopping consiste en dejar cámaras vacías después de la extracción del mineral, se caracteriza por su gran productividad debido a que las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral. Es el modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo y consiste en arrancar el mineral a partir de subniveles de explotación mediante disparos efectuados en planos verticales, con tiros paralelos y radiales, posteriormente quedando vacío el caserón después de la explotación.

“Sublevel Stopping”, es una aplicación de los principios de la voladura de banco a cielo abierto a las explotaciones subterráneas, consiste en el arranque del puente entre dos niveles de perforación en sentido descendente y ascendente. El sistema establece un único nivel base (nivel de extracción) para varios subniveles superiores, la distancia entre los niveles base oscila entre 80 y 100 metros. Ver gráfico N° 6.1 y N° 6. 2 de diseño desarrollo y preparación con secuencia de minado actual.

**Gráfico N°6.1**



Gráfico N°6.2



#### 4.2.1 Criterio para el Diseño del Minado

Los siguientes factores son determinantes para el diseño de minado por el área de planeamiento de mina:

- Geometría del cuerpo mineralizado.
- Direcciones de los principales esfuerzos.
- Competencia de las cajas.
- Malla optima de la perforación de los taladros de producción.

El dimensionamiento del tajeo será una decisión crítica, es necesario la experiencia de mucha gente calificada y no calificada, operadores con experiencia similar, expertos en mecánica de rocas y otros con experiencia en el diseño de minas.

#### 4.2.2 Criterios para la Selección del Método SLS

Es aplicado bajo los siguientes criterios:

- ✓ Geometría del yacimiento del mineral.
- ✓ Distribución del mineral y de sus leyes.
- ✓ Propiedades geomecánicas del mineral y de la roca caja y piso.
- ✓ Aspectos económicos.

- ✓ Limitaciones ambientales.
- ✓ Consideraciones sociales.

#### 4.2.3 Parámetros del Método SLS en Casapalca

|  |                   |
|--|-------------------|
| Altura de Tajos (m)                                  | 50 - 100          |
| Altura de Subniveles (Bancos) (m)                    | 25                |
| Ancho de Tajos en Vetas (m)                          | 1.8 - 3.0         |
| Ancho de Tajos en Cuerpos (m)                        | 3.0 - 35.0        |
| Longitudes de Tajos (m)                              | 6 - 120           |
| Mineralización en :                                  | Vetas y Cuerpos   |
| Buzamiento   | 45° - 85°         |
| Restablecimiento del Equilibrio del Macizo Rocoso    | Relleno detrítico |
| Producción Mensual Tajos (Cpo.mery) tms              | 133,000.00        |
| Producción Mensual Preparaciones y Desarrollos (TMS) | 5,000.00          |
| Acceso a partir de Rampa Sección:                    | 4.0 x 4.0         |

- ✓ Para la recuperación de las aureolas de los Tajeos antiguos explotados cuyo Cut off en ese entonces era de 3 % de Zinc. En el presente se trabaja con un Cut off de 1.80 % de Zinc. Para dicha recuperación se realiza la preparación con Draw Point (By Pass y ventanas de extracción). Esto se trabaja en los niveles pertenecientes a la zona alta (niveles 1 al 6).
- ✓ Para la explotación de cuerpos mineralizados en profundización (Niveles 10 al 14) se trabaja con galerías en el centro de la mineralización sin la realización de By Pass contemplando la rotura y extracción en retirada; esto también depende de la potencia de la mineralización.

#### 4.2.4 Desarrollo

- ✓ Se contempla niveles bases (niveles en donde se recepcionará el mineral) y niveles intermedios.
- ✓ La sección de estas galerías son de 4x4.5 m.
- ✓ Los cruceros son cada 25 m a lo largo de todo el cuerpo mineralizado.
- ✓ La altura del caserón o tajo no tiene limitaciones teóricas, Casapalca se amolda más bien a las condiciones del yacimiento y en la mayoría de los casos abarcamos toda la altura de la mineralización a fin de limitar el número de galerías bases de extracción a una sola en lugar de varias.

#### 4.2.5 Preparación

Desde la rampa principal se accede a la zona mineralizada y se desarrollan los subniveles de perforación cada 30 metros perforándose Taladros negativos y positivos según sea el caso.

El corrimiento de la galería se hizo en veta. El by pass se desarrolla en estéril y en la parte inferior del tajo y es paralela al mineral del tajo.

Las ventanas de extracción son las que unen el by pass con la galería en veta, dichas ventanas permitirán evacuar el mineral y transportarlo por el by pass. Tenemos que considerar el diseño de chimeneas, que generaran la cara libre durante el proceso de minado.

La diferencia de cota entre los subniveles oscila entre 25 – 26 metros. Dicha distancia permite la perforación de los taladros de producción en negativo y en positivo. El ancho de minado varía de forma significativa en este tajo, yendo desde los 14 metros hasta 3 metros, debido a la mineralización y estructura del cuerpo.

### **Chimenea (SLOT)**

Labor minera vertical (70° a 90°) y sección de 1.50mx1.50m, a más cuya construcción ha sido en forma convencional generalmente, al cual en la Cía. Minera Casapalca se está realizando con equipos de perforación electro hidráulicos.

Usos que se dan a las chimeneas:

- ✓ Circuitos de ventilación de nivel a nivel.
- ✓ Instalaciones de servicios (acceso, instalaciones de agua, aire y energía eléctrica).
- ✓ Generación de cara libre (slot) para la explotación del bloque mineralizado mediante el método de explotación Sub Level Stopping.

El objetivo de realizar slot con equipos electro hidráulico es: Mecanizar la construcción de chimeneas slot a fin de minimizar el nivel del riesgo asociado respecto a la seguridad, salud y medio ambiente.

- ✓ Para evitar incidentes y/o accidentes por excavación de chimeneas convencionales.
- ✓ Minimizar los retrasos en los avance Mina (exploratorios, primarios y preparaciones):70% en la realización de slot.

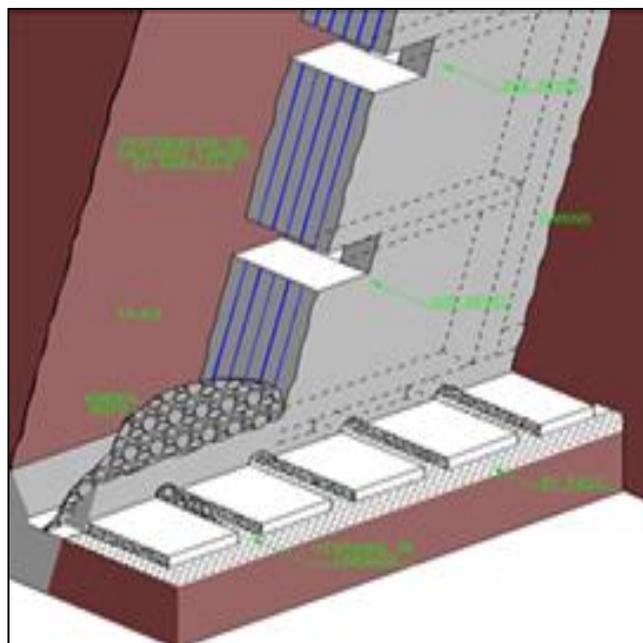
#### **4.2.6 Método de Taladros Largos en Paralelo**

Este métodos es aplicado básicamente en blocks de mineral de potencias menores, vetas donde la potencia minable es de 1.50 metros hasta 3.00 metros, la sección de los subniveles son de 2.50m x 2.50m, sirven como subnivel de perforación así como también para el desplazamiento de los equipos de perforación y de limpieza scooptram. Ver esquema 6.1: Método de taladros largos en paralelo.

Existe una regular continuidad en la mineralización lo cual hace factible la aplicación de este sistema, el buzamiento de las vetas tienen un promedio de  $75^\circ$  lo que es una inclinación favorable en el desplazamiento del material dentro del tajo. La altura entre subniveles es de 15.0 metros, a partir de estos subniveles se realizan perforaciones de taladros paralelos al buzamiento de la veta en sentido ascendente y descendente con una longitud entre 12.0m – 15.0m como máximo, para lo cual se utilizan diámetros de broca de 64 mm con la finalidad de minimizar la desviación de los taladros.

Los Chimena - slot son utilizados como cara libre, son preparados con una sección de 2.0m x 2.0m. Estas chimeneas están ubicadas a los extremos del tajo de tal forma que la explotación se hace en retirada y en rebanadas verticales, en caso de haber tajos vacíos ya no es necesario la realización de slot o caras libres.

#### **Esquema 6.1: Método de taladros largos en paralelo**



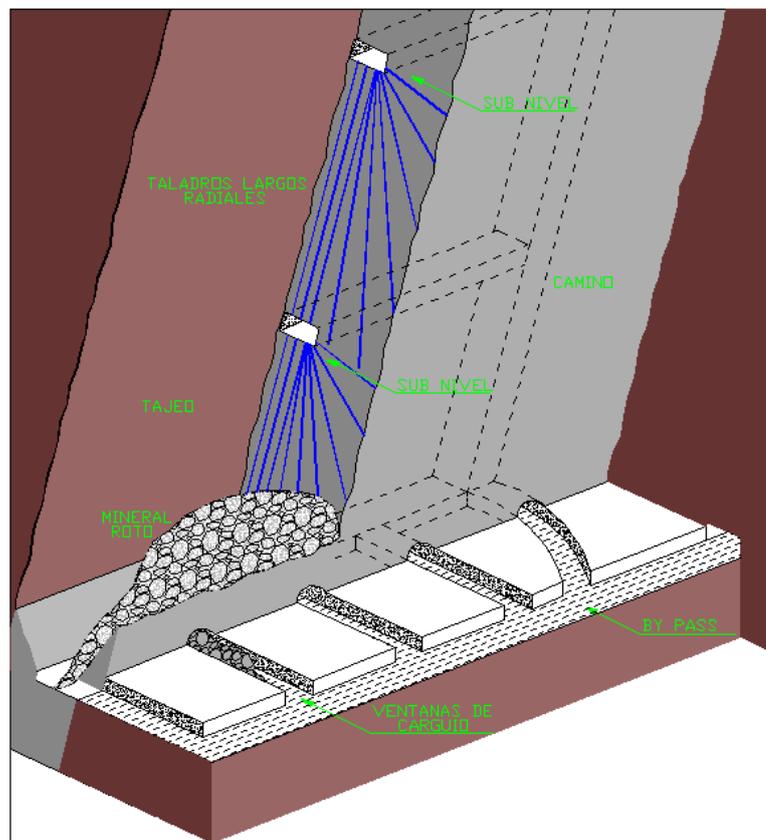
#### **4.2.7 Método de Taladros Largos en Abanico**

Este método es aplicado en cuerpos diseminados, la perforación de taladros son de longitudes variables superiores a los 15 metros

dependiendo de las dimensiones del block mineralizado. Ver esquema 6.2: Metodo de taladros largos en abanico.

La altura entre Subniveles de perforación es de 30 metros, a partir de estos subniveles se realizan perforaciones de taladros ascendentes y descendentes en abanicos para lo cual se utilizan diámetros de broca de 64mm. Con la finalidad de minimizar la desviación de los taladros. Ver esquema N° 6.2

### Esquema 6.2: Metodo de taladros largos en abanico.



#### **4.2.8 Ventajas y desventajas del método SLS**

##### **Ventajas**

- La desviación puede ser controlada
- Alta productividad.
- Alta adaptabilidad en vetas angostas y cuerpos
- Alta adaptabilidad en vetas angostas y cuerpos pequeños e irregulares.
- Brinda mayor seguridad al personal
- Costos Bajos

##### **Desventajas:**

- Desviación de taladros largos.
- Es necesario tener cajas competentes que puedan garantizar el auto soporte suficiente durante un tiempo sin relleno
- Dilución y Pérdida de mineral.
- Se requiere de desarrollos considerables.
- Baja selectividad.
- Necesidad de un planeamiento detallado
- Voladura secundaria.

#### **4.3 OPERACIONES UNITARIAS**

##### **4.3.1 Perforación**

La perforación se realiza con taladros largos paralelos y radiales, alcanzando longitudes que van entre 15 - 20 m. Hacia arriba y abajo.

Se cuenta con equipos electrohidráulicos con un ratio de 3.75 Ton/m perforado. La perforación comienza en el nivel base (taladros positivos) por lo que las perforaciones en los niveles intermedios son negativas comunicación con el tajo inferior y positivo dejando un puente al siguiente nivel base.

### **Taladros paralelos**

La perforación de los taladros en paralelo se realizó desde las galerías, cuyo burden y espaciamiento eran de 1.30 metros y 1.50 metros respectivamente.

### **Taladros en abanico**

La perforación de taladros en abanico, se realiza desde las galerías o desde los cruceros, como es el caso del Tj. 714, dicha perforación se realiza con taladros radiales comprendidos entre 0 - 180 grados, cuyas longitudes se adaptan al contorno de la mineralización.

Una de las ventajas que ofrece este método con respecto al de perforación de taladros en paralelo es el menor costo de preparación y la seguridad que ofrece, ya que las secciones de la perforación en abanico son menores que las secciones de la perforación en paralelo.

### ***Equipo de perforación SIMBA H1254***

El Simba 1254 es un equipo de perforación de barrenos largos para galerías de amaño pequeño a mediano en el rango de 51 a 89 mm de diámetro. Proporciona una gran área de cobertura y puede perforar barrenos paralelos ascendentes y descendentes en las paredes laterales. Está equipado con un martillo en cabeza de alto rendimiento que proporciona una solución sostenible para la perforación de barrenos largos. (Ver fotografía 4.1 y Figura 4.1).

## Características

- ✓ Martillo COP 1838ME de 18 kW para alta disponibilidad y productividad, o COP 2550UX de 25 kW para barrenos de mayor diámetro y condiciones de terreno más difíciles.
  
- ✓ Carrusel con capacidad de 17+1 barras para perforación mecanizada de hasta 32 m.
  
- ✓ Control remoto en la línea de visión para una alta movilidad.
  
- ✓ Brazo péndulo y unidad de rotación deslizante para una alta cobertura

**Fotografía 4.1: Simba H1254**



## Simba 250/1250

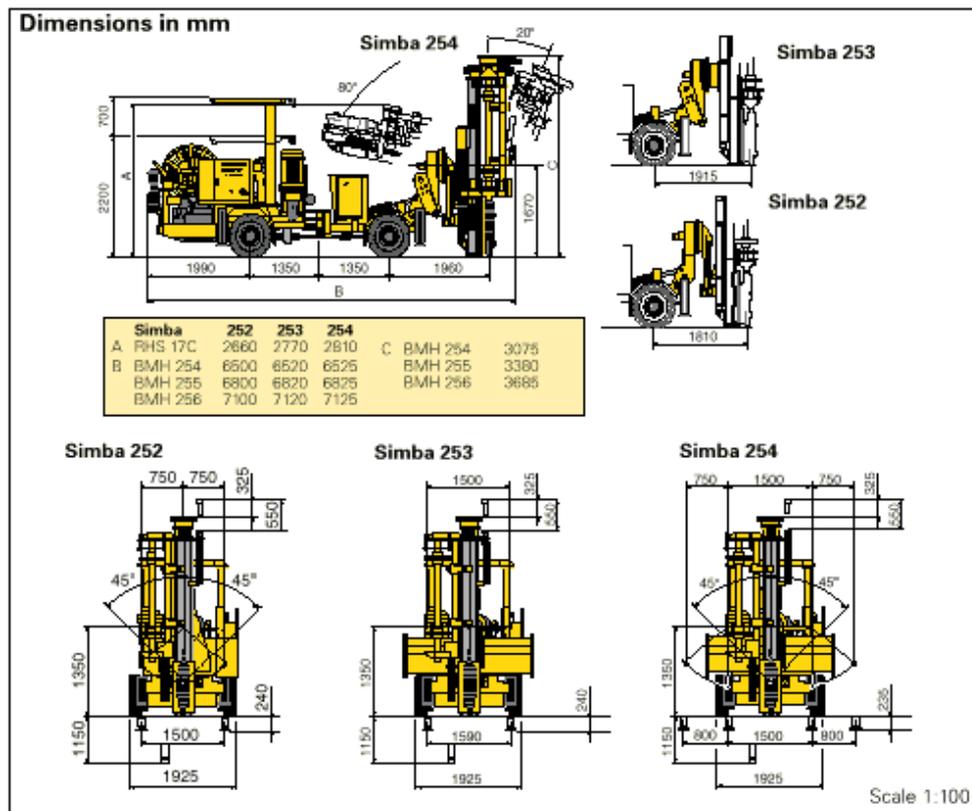


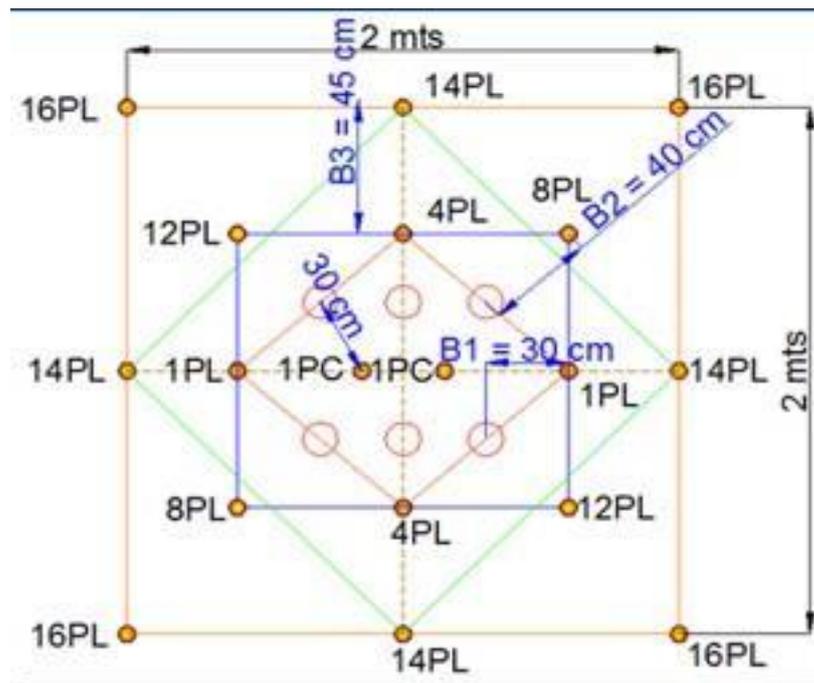
Figura N° 4.1: Dimensiones del Simba H1254

### 4.3.2 Cara Libre de los Tajeos de Producción

#### 4.3.2.1 Perforación de la chimenea slot (Cara Libre)

Para la salida de la voladura primaria, una vez realizado la perforación de los taladros largos paralelos o abanicos en forma positiva, es necesaria la creación de una cara libre vertical, este tipo de chimenea es ejecutado de forma convencional, en la mina Casapalca es utilizado la máquina perforadora Stoper, donde la secuencia de minado empieza por identificar el taladro guía para la chimenea dejado por la perforación de los Simbas H1254 para su perforación y posterior voladura de donde se inicia desde el nivel de la parte de la extracción hasta la parte superior del tajeo. Ver esquema 6.3: Diseño de malla de perforación Slot.

La ubicación de la chimenea slot, a lo largo de todo el cuerpo mineralizado dentro de la galería de producción es ubicada en la parte más alta del cuerpo, para un mejor resultado posterior de la voladura primaria, en caso contrario podría estar en el extremo.



**Esquema 6.3: Diseño de malla de perforación Slot.**

#### 4.3.2.2 Factores que originan la desviación de taladros

- ✓ Error en el posicionamiento del equipo.
- ✓ Error en la selección y lectura de ángulos.
- ✓ Error en el emboquillado y en la fijación de la viga de avance.

#### 4.3.2.3 Perforación de la chimenea VCR (vertical crater raise)

Para la salida de la voladura primaria, una vez realizado la perforación de los taladros largos paralelos o abanicos en

forma negativa, es necesaria la creación de una cara libre, este tipo de chimenea conocido como VCR, son de secciones de 2 x 2 metros su ejecución se da en forma descendente, realizando la voladura en los taladros diseñados y perforados por los Simbas H1254. La malla de perforación tiene un burden y espaciamiento igual de 1,20m en vetas y 1,50m en cuerpos y el diámetro del taladro es de 2.5 pulgadas (64 mm) Escogemos tres taladros y muy próximos a éstos perforamos tres taladros más, de manera que se asemeje a un disparo en forma de "V" con sus respectivas caras libres en forma de "v invertida".

El taladro se carga desde arriba hacia abajo con agentes de voladura como ANFO, EXAMON P o similares, para ello es importante que se coloque un tapón en la parte inferior. El agente de voladura es detonado por medio de un cebo con un emulnor y fulminante.

La ubicación de la chimenea VCR, a lo largo de todo el cuerpo mineralizado dentro de la galería de producción es ubicada en la parte más alta del cuerpo, para un mejor resultado posterior de la voladura primaria, en caso contrario podría estar en el extremo.

#### **4.3.3.4 Equipos y accesorios de Perforación**

La Cia. Minera cuenta con 14 equipos de perforación de los cuales 7 son Simbas de última generación que nos garantizan una excelente perforación.

Los equipos cuentan con un programa de mantenimiento preventivo y rutinario para mantener los accesorios de perforación óptimas condiciones de operación.

Los operadores reciben constantemente un buen entrenamiento en el uso eficiente del equipo, en el control de las presiones de percusión, rotación y empuje para minimizar las desviaciones, así como sobre el posicionamiento del equipo de acuerdo a las secciones o anillos marcados por topografía en el terreno.

### 4.3.3 Voladura

Los taladros son cargados manteniendo la salida en "V", a fin de utilizar la energía de proyección para lograr mejor fragmentación. El factor de potencia promedio en tajeos es de 0.40 Kg/TM.

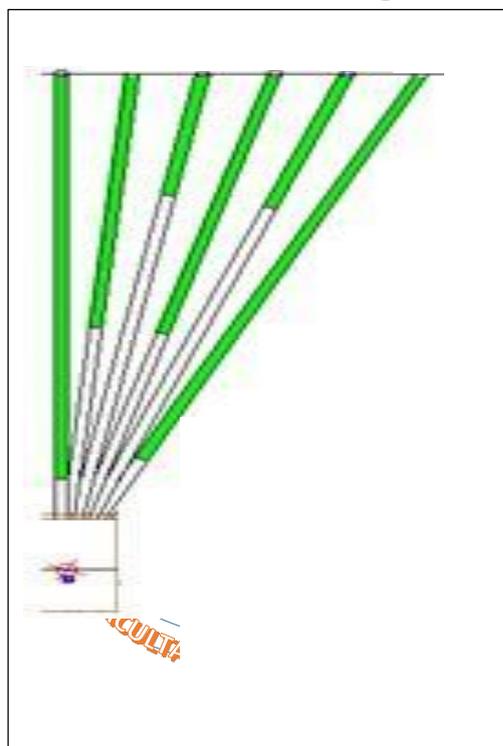
Equipo de carguío: Anfoloader (cargador neumático mecanizado)  
Marca :Teledyne.

**Accesorios de voladura:** Fanel de periodo corto (4.80m) : Carmex (guias ensamblada).

**Explosivos :** Cordón detonante (pentacord 5P) : Emulsión 5000 (1 1/8" x 8") Agente de voladura : Anfo 20

Distribución de carga: (Ver figura 4.2)

**Figura N° 4.2: Distribución de carga ideal**



### Fuente: Area de planeamiento

**Long. carga de fondo(l.c.f)**

$$\text{L.C.F} = 8D = 0.5 \text{ m}$$

✓ **Concentración de la carga de fondo (C.C.F)**

$$\text{C.C.F} = \frac{\text{L.C.F}}{\text{peso emulsión}} \quad (0.26\text{kg/und}) = 0.13\text{kg/tal}$$

✓ **longitud de la carga de columna(l.c.c)**

$$\text{L.C.C} = \text{Long. Carga} - \text{L.C.F}$$

La longitud de carga se castiga de la siguiente manera:

Taladros a 90° = A 90% de la longitud del taladro.

Ejemplo: Para taladros a

90° Long. Tal=19.00 m

$$\text{L.C.F} = 0.5\text{m}$$

$$\text{Long. Carga} = 19 \times 0.9 =$$

$$17.1\text{m} \quad \text{L.C.C} = 17.1 - 0.5$$

$$\text{m} = 16.6 \text{ m}$$

#### 4.3.4 Limpieza

La limpieza del mineral roto, se efectúa mediante Scoop R-1600, de 6 Yd de capacidad, instalado control remoto, a fin de evitar que el operador se exponga al banco alterado, para esto se utilizan los refugios previamente construidos durante la preparación del tajo. Para dar productividad se tienen preparados chimeneas de acopio del material fragmentado a distancias no mayores a 150 metros, acelerando la limpieza de los tajos. Alcanzando 85 Ton/hr en scoop

de 6 Yd. Cada sub nivel cuenta con un diseño “cámara de seguridad para el operador”, ubicado cada 20 metros, y de acuerdo a las inflexiones que sigue la veta la preparación del tajo.

## **CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El comportamiento geomecánico mas resaltante en la mina, es la presencia de carbonatos (arcillas expansivos e inestables que proceden de un origen primario etapa de formación de la roca ) u origen secundario (minerales producto de la alteración hidrotermal), estas arcillas originan un rápido deterioro de la calidad de la roca y del mineral, disminuyendo su grado de resistencia y aumentando las presiones de poros en las paredes, debido a la absorción del agua subterránea existente, la cual está compuesta por aguas de infiltración natural y aguas del relleno hidráulico que es colocado en los tajeos que son explotados mediante el sistema de corte y relleno ascendente, percolándose esta agua a través de los sistemas de fracturas.

De acuerdo a este sistema de minado, las galerías sobre veta deberán inicialmente sostenerse en forma temporal, utilizando el tipo de sostenimiento según el G.S.I. detallado en el presente manual y como soporte definitivo será necesario el uso de cimbras metálicas, colocadas adecuadamente (debido al deterioro del macizo rocoso por la absorción del agua), asimismo, deberá protegerse las futuras galerías, cruceros, rampas, en los tramos excavados donde se encuentren bajo la influencia de agua en sus inmediaciones, sea esta de infiltración o del relleno.

El uso de medidas de control como las mediciones de convergencia con cinta invar en tramos críticos, así como el uso del sistema de relleno en pasta, deberán ser tomados en cuenta para el mejoramiento de los sistemas de minado que se utilicen en la ampliación de la producción de la mina.

## **5.1 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA**

### **5.1.1 Estudio Geomecánico**

Esta sección está encargado el departamento de geomecánica. El personal integrante realiza el estudio geomecánico de la zona y su entorno físico en base a datos litológicos - estructurales tomados en el campo a través de un mapeo geológico - geotécnico, utilizando el método de "Líneas de Detalles" para cada dominio estructural, estimando parámetros resistentes de la roca. En el trabajo de gabinete se empleó técnicas como la proyección estereográfica, métodos estadísticos para el análisis y representación de la información recopilada en el campo.

#### **5.1.1.1 Procedimiento del mapeo geomecánico**

Para la caracterización de la masa rocosa de la Mina Casapalca, se registraron los datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, utilizando el "método directo por celdas de detalle". Ver tabla 5.1. Los parámetros que se tomaron en cuenta son: Tipo de roca, sistema de discontinuidades, orientación, espaciado, rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno, intemperización y presencia de agua.

#### **5.1.1.2 Registro de datos**

Para la caracterización de la masa rocosa se ha considerado los Cuerpo Mery, Esperanza, Chiara; Zona Esperanza (Veta Esperanza); Zona Oroya (veta Oroya), se tomaron datos de las discontinuidades presentes en la roca expuesta de los niveles: 1B,1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, y 14 de la mina.

Los parámetros tomados en cuenta fueron: Calidad de Roca, sistemas de discontinuidades principales y orientación con

respecto al eje del proyecto (Geoestructural) e información con respecto a pruebas de laboratorio presentes en la zona.

### **5.1.1.3 Distribución de Discontinuidades**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades estructurales tanto mayores como menores, se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el software DIPS.

Los tres sistemas típicos de discontinuidades que conforman el arreglo estructural de la masa rocosa son:

Sistema 1: Rumbo N 60°E y buzamiento 87°SE.

Sistema 2: Rumbo S16°E y buzamiento 82°SW.

Sistema 3: Rumbo S 87°W y buzamiento 83°SE.

Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas y se establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en los afloramientos.

#### **a. Tipos de discontinuidades**

En el Crucero 300 las discontinuidades son juntas, fallas y fracturas.

Cuadro N° 5.1: Datos geomecánicos del campo

| N° | DESCRIPCIÓN | BUZAMIENTO | ORIENTACIÓN |          | ESPACIADO (cm) | PERSISTENCIA (m) | TERMINACIÓN    | ABERTURA (cm) | RUGOSIDAD    | TIPO DE RELLENO | ONDULACIÓN  |
|----|-------------|------------|-------------|----------|----------------|------------------|----------------|---------------|--------------|-----------------|-------------|
|    |             |            | ACCIÓN      | REACCION |                |                  |                |               |              |                 |             |
|    |             |            |             |          | 1. >50         | 1. >5            | 1. Otra dis c. | 1. Cerrada    | 1. Muy rug.  | 1. Limpio       | 1. Lineal   |
|    |             |            |             |          | 2. 50-30       | 2. 3-5           | 2. Roca        | 2. Mlang <0.1 | 2. Rugosa    | 2. Cuarzo       | 2. Ondulada |
|    |             |            |             |          | 3. 30-10       | 3. 1-3           | 3. Continua    | 3. Ang. 0.1-1 | 3. Med. Rug. | 3. Arcillas     |             |
|    |             |            |             |          | 4. 10-0        | 4. 0-1           |                | 4. Ab. 1-5    | 4. Lig. Rug. | 4. No determ    |             |
|    |             |            |             |          |                |                  |                | 5. Lisa       |              |                 |             |
| 4  | E + 1,68    | 100°       | 83°         | 3        | 1              | 2                | 3              | 1             | 2            | 1               | 2           |
| 5  | E + 2,00    | 81°        | 45°         | 3        | 2              | 2                | 3              | 1             | 2            | 1               | 2           |
| 6  | E + 3,28    | 100°       | 85°         |          | 1              | 3                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 7  | E + 3,84    | 85°        | 75°         | 3        | 1              | 3                | 3              | 1             | 2            | 2               | 2           |
| 8  | E + 4,64    | 310°       | 70°         | 1        | 1              | 3                | 3              | 2             | 1            | 2               | 2           |
| 9  | E + 5,04    | 191°       | 72°         | 2        | 1              | 3                | 2              | 1             | 3            | 2               | 2           |
| 10 | E + 5,76    | 191°       | 75°         | 2        | 1              | 3                | 3              | 2             | 1            | 3               | 2           |
| 11 | E + 6,40    | 161°       | 75°         |          | 1              | 3                | 3              | 2             | 1            | 3               | 2           |
| 12 | E + 7,30    | 200°       | 70°         | 2        | 1              | 2                | 3              | 1             | 2            | 2               | 2           |
| 13 | E + 7,60    | 161°       | 75°         |          | 2              | 3                | 3              | 2             | 1            | 3               | 2           |
| 14 | E + 7,80    | 168°       | 75°         |          | 2              | 3                | 3              | 2             | 1            | 3               | 2           |
| 15 | E + 10,00   | 81°        | 65°         | 3        | 1              | 3                | 3              | 2             | 3            | 2               | 2           |
| 16 | E + 10,96   | 301°       | 60°         | 1        | 1              | 3                | 3              | 1             | 2            | 1               | 2           |
| 17 | E + 11,40   | 201°       | 75°         | 2        | 1              | 2                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 18 | E + 12,40   | 230°       | 72°         | 2        | 1              | 2                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 19 | E + 12,96   | 191°       | 75°         | 2        | 2              | 2                | 2              | 1             | 1            | 1               | 2           |
| 20 | E + 13,12   | 301°       | 60°         | 1        | 1              | 3                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 21 | E + 13,68   | 323°       | 68°         | 1        | 2              | 3                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 22 | E + 14,56   | 191°       | 50°         | 2        | 1              | 2                | 3              | 1             | 1            | 1               | 2           |
| 23 | E + 15,04   | 230°       | 65°         |          | 1              | 3                | 3              | 1             | 2            | 1               | 2           |
| 24 | E + 15,20   | 81°        | 70°         | 3        | 2              | 3                | 3              | 2             | 2            | 2               | 2           |
| 25 | E + 15,60   | 81         | 70          | 3        | 2              | 3                | 3              | 1             | 2            | 2               | 2           |
| 26 | E + 15,96   | 206        | 45          | 2        | 2              | 5                | 3              | 4             | 2            | 2               | 2           |

### b. Orientación de las discontinuidades

La orientación y buzamientos de familia de las discontinuidades son:

Rumbo del Crucero 300: N 49° W

Familia 1m: Rumbo N 30° E, buzamiento 67° NW

Familia 2m: Rumbo N 76° w, buzamiento 65° SW

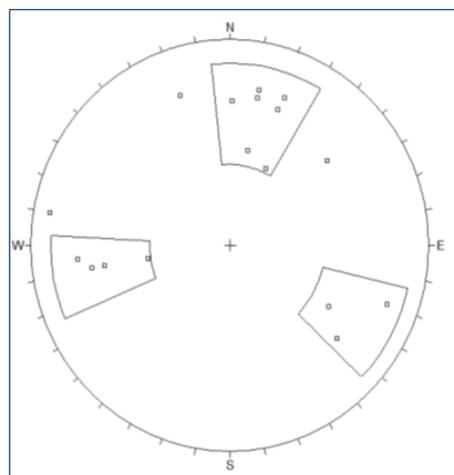
Familia 3m: Rumbo N 8° w, buzamiento 65° NE

Para la representación de las discontinuidades estructurales en el estereograma se emplea la técnica de proyección mediante el programa de computo "DIPS" el cual se emplea en este estudio para la representación estereográfica.

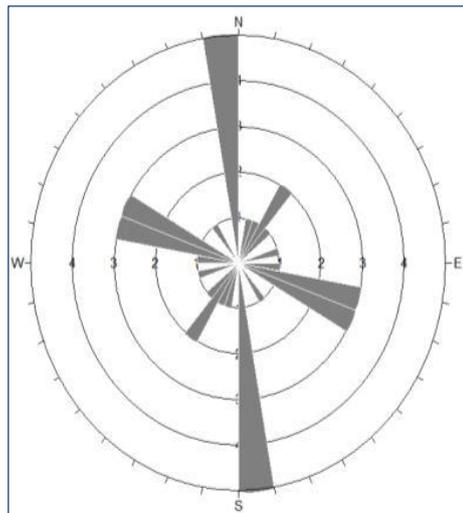
Se muestran los datos de discontinuidades geológicas tomados en el mapeo geológico - geotécnico en las galerías de la veta Esperanza, estos datos se presentan en el formato "Buzamiento 1 dirección de Buzamiento" para realizar el tratamiento estadístico respectivo. Estos datos de orientaciones estructurales, se ingresan al programa "DIPS" para obtener la representación estereográfica de las discontinuidades.

Una vez obtenidos los datos geológicos – estructurales. se procede a ingresarlos en el programa "DIPS", los cuales se platean como polos, tal como se muestra en el estereograma. Aquí se puede observar la representación espacial de las discontinuidades geológicas que fueron tomadas en el mapeo geológico geotectónico de la galería 225 de la veta Esperanza y su entorno. Ahora para obtener un estereograma de concentración de polos, en el programa "DIPS", se realiza la agrupación estadística. Ver figura N° 5.1.

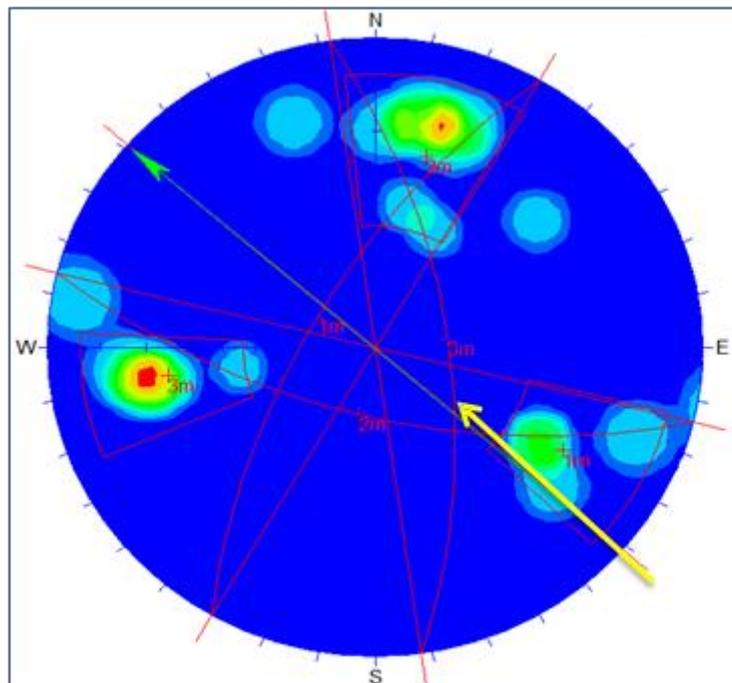
**Figura N° 5.1: Análisis con el programa Dips**



a) Diagrama estereográfico de compuesto general



b) Diagrama de roseta de discontinuidades del compuesto general



c) Diagrama estereográfico para el análisis de familia de discontinuidades y dirección de excavación

#### **5.1.1.4 ALTERACIONES**

La principal alteración en la zona estuda es la silicificación, puesto que la arenisca por efecto de silicificación como resultado a las rocas llamados areniscas silíceas o silicificadas.

#### **5.1.2 Estructura del macizo rocoso**

Espaciamiento entre 20 a 60 cm., persistencia de 3 a 10 m., apertura variable de 1 a 5 mm. en algunos casos y en la mayoría de casos cerrada y sin relleno, la rugosidad de las paredes es ligeramente rugosa a rugosa con ciertas ondulaciones con relleno duro con presencia de calcitas de espesores entre 0.1 a 1mm. Las paredes de las discontinuidades estructurales por lo general son ligeramente alteradas con cierta presencia de goteo de agua localmente.

#### **5.1.3 Aspectos Litológicos**

La roca circundante al área de estudio esta compuesto generalmente por Capas Rojas, caracterizada por presentar intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas. Las areniscas son de grano fino a grueso y comúnmente se observa una débil estratificación y en mayor dimensión en areniscas silicificadas compactas y masivas.

Sobreyaciendo a las capas rojas se encuentra el miembro el Carmen compuesto por una serie de paquetes de conglomerados y calizas intercaladas con capas de areniscas, lutitas, tufos y aglomerados volcánicos. Los conglomerados que también se presentan en lentes, están compuestos de guijarros y rodados de cuarcitas y calizas en una matriz areno arcillas y cemento calcáreo.

Asimismo; en la veta Ximena TJ 003 Nv. 18 se tiene un tipo de roca Andesita volcánica de textura porfirítica y afanítica en ambas cajas con alteración de silicificacion y carbonatación y en la caja piso, en la zona de estructura mineralizada se tiene una textura brechada con

matriz de calcita y carbonatos (calcita, rodocrosita) masivos con textura bandeada y brechadas en caja piso acompañado con espejo de falla en la misma estructura mineralizada y en los contactos.

#### 5.1.4 Condiciones de agua subterránea

En el área de evaluación no es muy significativa la presencia de agua subterránea, lo que se observó durante los trabajos de campo han sido condiciones de la masa rocosa mayormente secas a húmedas, en ciertos casos y en forma local se han observado condiciones de mojado a goteo. Por estas características de presencia del agua subterránea, se espera que no haya influencia significativa sobre las condiciones de estabilidad de las excavaciones asociadas al minado.

#### 5.1.5 Caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas

Según los estudios geomecánicos que realizó el departamento de geomecánica de la CMCSA en los laboratorios del Pontífice Universidad Católica de Perú, la roca intacta tiene los siguientes valores mecánicos y físicos. Ver cuadro N° 5.2 y cuadro N° 5.3

**Cuadro N° 5.2: Propiedades físicas de la roca**

| MUESTRA          | POROSIDAD (%) | P.E (kN/m <sup>3</sup> ) | DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|
| CMC_T 34 - WASTE | 1,44          | 27,21                    | 2,77                          |
| CMC_T 35 - WASTE | 0,75          | 27,64                    | 2,82                          |
| CMC_T 36 - WASTE | 0,64          | 26,72                    | 2,72                          |
| CMC_T 37 - WASTE | 0,95          | 27,39                    | 2,79                          |
| <b>PROMEDIO</b>  | <b>0,945</b>  | <b>27,24</b>             | <b>2,78</b>                   |

Cuadro N° 5.3: Propiedades mecánicas de la roca

| MUESTRA                       | $\sigma$ | ÁNGULO DE FRICCIÓN | Cohesión (Mpa) | mi          |
|-------------------------------|----------|--------------------|----------------|-------------|
| CMC_T 32 - ORE                | 116,58   | 47,20°             | 20,60          | 14,80       |
| CMC_T 33 - ORE                | 128,45   | 47,20°             | 20,60          | 14,80       |
| CMC_T 34 -                    | 162,70   | 51,30°             | 28,20          | 18,19       |
| CMC_T 35 -                    | 135,62   | 51,30°             | 28,20          | 18,19       |
| CMC_T 36 -                    | 152,14   | 51,30°             | 28,20          | 18,19       |
| <b>Resistencia de la roca</b> |          | <b>51,30°</b>      | <b>28,20</b>   | <b>18,1</b> |
|                               |          | <b>51,30°</b>      | <b>28,20</b>   | <b>18,1</b> |

#### a. Resistencia a compresión simple

Se calculó mediante ensayos con el martillo de Schmidt.

Cuadro N° 5.4: Resistencia a la compresión simple

| Ensayos con matillo de Schmidt |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | Promedio |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|
| N° de rebotes                  | 52     | 49     | 50     | 50     | 55     | 48     | 54     | 52     | 52     | 49     | 51       |
| Resistencia (Mpa)              | 161,52 | 136,33 | 144,26 | 144,26 | 191,37 | 128,84 | 180,85 | 152,65 | 108,75 | 136,33 | 148,52   |

Asimismo; se realizó la prueba, en una andesita de textura medio a fino y en la zona de estructura mineralizada con textura brechada con matriz de carbonato a lo largo del TJ-003 NV-18 en las cajas y corono o zona mineralizada obteniendo los siguientes datos:

Hoja de Cálculo para rebotes con el Martillo de Schmidt. Ver cuadro N°5.5.

Angulo de Prueba = 0°

Cuadro N°5.5: Datos del martillo de Schmidt

|       | Rebote | Densidad tn/m3 | Densidad kN/m3 | Fatt. Conv. | Resistencia |
|-------|--------|----------------|----------------|-------------|-------------|
| CAJAS | 50     | 2.73           | 26.48          | 2.02        | 136         |
| VETA  | 31     | 3.00           | 24.52          | 1.77        | 44          |

A fin de verificar los resultados de los ensayos de campo, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la PUCP ensayos de compresión Uniaxial sobre muestras rocosas de Mina. Los resultados se muestran a continuación:

Resistencia compresiva de la roca intacta (Determinada con ensayos de compresión Uniaxial). Ver cuadro N°5.6.

**Cuadro N°5.6: Resistencia compresiva de la roca intacta**

| MUESTRA                | $\delta_c$ (Mpa) |
|------------------------|------------------|
| Nv. 5A CPO.-EMI-ORE    | 43.2             |
| Nv. 5A MERY-S ORE      | 123.86           |
| Nv. 5A CPO.-ESP.-ORE   | 63.45            |
| Nv. 4B CPO.-SOF.-ORE   | 104              |
| Nv. 4B CPO.-EMI.-ORE   | 70.51            |
| Nv. 5A MERY-N - ORE    | 116.58           |
| Nv. 3A CPO.-SOF.- ORE  | 75.84            |
| Nv. 5A GAL.-780 WASTE  | 162.7            |
| Nv. 5A XC-780 WASTE    | 198.71           |
| Nv. 4B GAL.-841 WASTE  | 208.03           |
| Nv. 5A XC-850 WASTE    | 135.62           |
| Nv. 3A GAL.- 894 WASTE | 59.65            |

**Cálculo de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.  
Ver cuadro N° 5.7.**

Cuadro N° 5.7: Reporte carga puntual digital

| GEO MECANICA LATINA S.A.<br>Ingeniería de rocas para la Estabilidad y Seguridad de excavaciones |                            | H = Alto<br>W = Ancho (prom.)  |                               | 0.3H < D > H                                |        | ENSAYO MUESTRAS IRREGULARES |         |      |      |        |          |
|---|----------------------------|--|-------------------------------|---|--------|-----------------------------|---------|------|------|--------|----------|
| REPORTE CONTROL DEL EQUIPO DE CARGA PUNTUAL DIGITAL   |                            |  |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| EMPRESA   | CA SAPALCA                 | LITOLÓGIA  | ANDESITA VOLCANICA Y MINERAL. |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| UNIDAD  | AMERICANA                  | GEOMETRÍA  | BLOQUE DE ROCA                |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| UBICACIÓN   | LIMA                       | OTROS  |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| POINT LOAD TEST   | TAJO 095 TAJO 003 NIVEL 18 | OBS.   |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| FECHA   | 14-Ago-17                  | ESTRATOS TOMADAS A LO LARGO DEL TAJEO 095 NIVEL se realizo pruebas en las cajas siendo roca andesita volcanica y en la estructura mineralizada |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| REALIZADO POR   | J.A.M.C.                   |  |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
|   |                            | 0.3H < D > H   |                               | (1KN = 10197 Kgf) (1Kgf/cm2 = 0.098067 Mpa) |        |                             |         |      |      |        |          |
| Nro.  | Fecha                      | Carga (KN)   | Carga (Kgf)                   | H (mm)                                      | W (mm) | De                          | De3     | Is   | F.C. | Is(50) | σc (MPa) |
| PROMEDIO  |                            |  |                               |   |        |                             |         |      |      |        |          |
| CAJAS   | 14/08/2017                 | 30.00  | 2238.52                       | 56.35                                       | 57.75  | 63.49                       | 4236.97 | 5.08 | 1.12 | 5.53   | 135.00   |
| MINERAL   | 14/08/2017                 | 14.00  | 1685.76                       | 54.16                                       | 72.00  | 69.37                       | 4831.46 | 4.12 | 1.18 | 4.85   | 45.00    |

### 5.1.6 Criterios de rotura de la matriz rocosa

La resistencia de la matriz rocosa se evalúa mediante los criterios de rotura de Mohr – Coulomb y de Hoek Brown.

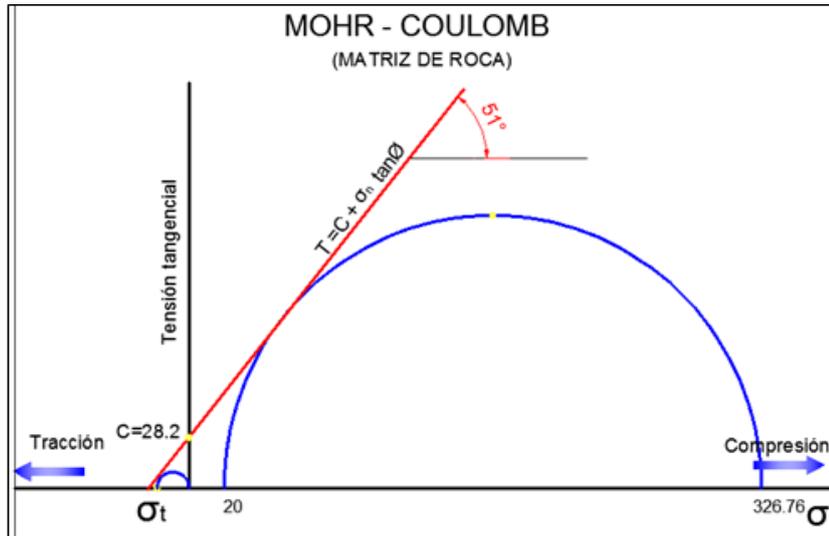
#### a. Criterio de Mohr – Coulomb

Si calculo los valores de los esfuerzos usando los siguientes modelos matemáticos, donde cohesión  $c = 28,90$ , ángulo de fricción interna  $\Phi = 51,30$  y  $\theta = 45^\circ$ .

Cuadro N° 5.8: Criterio de rotura Mohr – Coulomb

| Criterio Mohr - Coulomb     |        |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\sigma_3$ Mpa              | 0      | 10     | 20     | 30     | 40     |
| $\sigma_1$ (Mpa)            | 148,50 | 245,68 | 326,76 | 407,85 | 488,94 |
| $\sigma_n$ (Mpa)            | 74,25  | 127,84 | 173,38 | 218,93 | 264,47 |
| $\sigma_t$ (Tracción) (Mpa) | 20,30  | 32,46  | 32,46  | 32,46  | 32,46  |
| $\tau$ (Mpa)                | 121,58 | 159,57 | 216,42 | 273,26 | 330,11 |

**Gráfico 5.1: Diagrama de rotura Morh Coulomb**



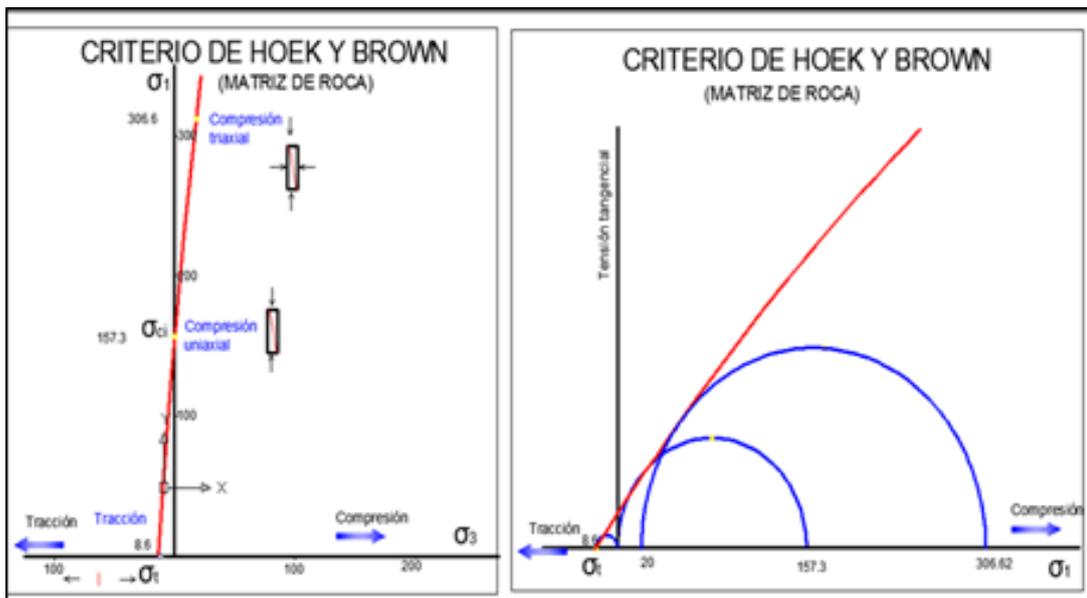
**b. Criterio de Hoek y Brown**

Utilizando los siguientes modelos matemáticos calculamos.

**Cuadro N° 5.9: Criterio de rotura de Hoek - Brown**

| Criterio Hoek - Brown       |        |                               |        |        |        |
|-----------------------------|--------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| $\sigma_3$ Mpa              | 0      | 10                            | 20     | 30     | 40     |
| $\sigma_1$ (Mpa)            | 148,50 | 231,50                        | 295,82 | 351,07 | 400,69 |
| $\sigma_t$ (Tracción) (Mpa) | -8,14  | Significa esfuerzo de tensión |        |        |        |

**Gráfico N° 5.2 : Criterio de rotura según Hoek - Brown**



## 5.2 ANALISIS DE PERNOS HYDRABOLT EN EL SOSTENIMIENTO DE LABORES SUBTERRANEAS

### 5.2.1 Características del Macizo Rocoso

**Zona encajonante:** Desde un punto de vista litológico la estructura está emplazada en una roca volcánica (Andesita) de textura porfirítica a afanítica de color gris oscuro de moderada silicificación según la tabla Geomecánica tiene un GSI: MF/R (muy fracturado regular) correlacionando con se tiene un RMR: 40-50 con una roca de tipo II.

**Zona mineralizada (veta):** La estructura mineralizada con una potencia de 4 a 6 mts tiene como característica principal cerca de la caja piso carbonato con una potencia 1.8 mts con una textura bandeada y brechada siendo la zona más inestable mientras que cerca de la caja techo se tiene una estructura con fuerte diseminación más competente y entre estas dos zona se tiene una falla con relleno de panizo y fuerte filtración teniendo un GSI: MF/R-M (muy fracturado regular a malo) y un RMR: 25-35 con roca tipo III.

En conclusión, en el siguiente cuadro N° 5.10, se presentan los resultados obtenidos sobre el RMR, propiedades de resistencia de la masa rocosa del área de evaluación.

**Cuadro N° 5.10: Parámetros de la masa rocosa**

| Tipo de roca     | RMR | $\sigma_c$<br>MPa | $\gamma$ | H<br>(m) | “m” | m     | s      | Emr<br>MPa | Poisson<br>$\nu$ |
|------------------|-----|-------------------|----------|----------|-----|-------|--------|------------|------------------|
| <b>Sección 1</b> |     |                   |          |          |     |       |        |            |                  |
| Mineral          | 64  | 160               | 27.5     | 480      | 15  | 3.007 | 0.0099 | 21489      | 0.25             |
| Mineral          | 66  | 160               | 27.5     | 480      | 15  | 3.288 | 0.0128 | 23520      | 0.25             |
| Desmonte         | 62  | 150               | 26.5     | 480      | 18  | 3.300 | 0.0077 | 18273      | 0.25             |
| Desmonte         | 64  | 160               | 26.5     | 480      | 18  | 3.608 | 0.0099 | 21489      | 0.25             |
| Desmonte         | 66  | 160               | 26.5     | 480      | 18  | 3.945 | 0.0128 | 23520      | 0.25             |
| <b>Sección 2</b> |     |                   |          |          |     |       |        |            |                  |
| Mineral          | 62  | 150               | 27.5     | 480      | 15  | 2.750 | 0.0077 | 18273      | 0.25             |
| Mineral          | 64  | 160               | 27.5     | 480      | 15  | 3.007 | 0.0099 | 21489      | 0.25             |
| Mineral          | 66  | 160               | 27.5     | 480      | 15  | 3.288 | 0.0128 | 23520      | 0.25             |
| Desmonte         | 58  | 140               | 26.5     | 480      | 18  | 2.760 | 0.0046 | 13751      | 0.25             |
| Desmonte         | 63  | 150               | 26.5     | 480      | 18  | 3.451 | 0.0087 | 19204      | 0.25             |
| Desmonte         | 66  | 160               | 26.5     | 480      | 18  | 3.945 | 0.0128 | 23520      | 0.25             |
| <b>Sección 5</b> |     |                   |          |          |     |       |        |            |                  |
| Mineral          | 62  | 150               | 27.5     | 480      | 15  | 2.750 | 0.0077 | 18273      | 0.25             |
| Desmonte         | 60  | 150               | 26.5     | 480      | 18  | 3.018 | 0.0059 | 16461      | 0.25             |
| Desmonte         | 62  | 150               | 26.5     | 480      | 18  | 3.300 | 0.0077 | 18273      | 0.25             |
| <b>Sección 7</b> |     |                   |          |          |     |       |        |            |                  |
| Mineral          | 61  | 150               | 27.5     | 480      | 15  | 2.630 | 0.0067 | 17358      | 0.25             |
| Mineral          | 63  | 150               | 27.5     | 480      | 15  | 2.876 | 0.0087 | 19204      | 0.25             |
| Mineral          | 68  | 160               | 27.5     | 480      | 15  | 3.595 | 0.0165 | 25551      | 0.25             |
| Desmonte         | 59  | 140               | 26.5     | 480      | 18  | 2.886 | 0.0052 | 14546      | 0.25             |
| Desmonte         | 63  | 150               | 26.5     | 480      | 18  | 3.451 | 0.0087 | 19204      | 0.25             |

En base a estos resultados, se procede al análisis del tipo de sostenimiento de las labores subterráneas en la Mina Casapalca.

### 5.2.2 Análisis tipo de sostenimiento a partir del índice RMR

De acuerdo al cuadro N° 5.6: Parámetros de la masa rocosa, se determina un conjunto de valores de RMR entre 68 y 59 en relación a la estructura mineralizada y roca encajonante. En base a estos resultados, se interpreta el tipo de sostenimiento de acuerdo a la siguiente tabla N° 5.1.

**Tabla N° 5.1: Lineamiento para la excavación y sostenimiento**

| CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO  | EXCAVACIÓN   | PERNOS DE ROCA (20 mm DE DIÁMETRO)   | CONCRETO LANZADO  | CERCHAS DE ACERO   |
|----------------------------------|--|--|---|--|
| I. Roca muy buena<br>RMR: 81-100 | A frente completo, avance de 3 m.  | Generalmente no se requiere sostenimiento, excepto ocasionalmente pernos de roca.                                |   |  |
| II. Roca buen<br>RMR: 61-80      | A frente completo, avance de 1,0 a 1,5 m. Instalar el sostenimiento a 20 m del frente.   | Localmente, pernos de 3 m de long., instalados en el techo, espaciados 2,5 m, ocasionalmente con malla metálica. | 50 mm en el techo, donde se requiera.                               | No   |
| III. Roca regular<br>RMR: 41-60  | Excavación superior y banqueo, avance superior a 1,0 a 1,5 m en el techo. Iniciar el sostenimiento después de cada voladura. Culminar el sostenimiento a 10 m del frente.    | Pernos sistemáticos de 4 m de long., espaciamiento 1,5-2 m en el techo y paredes con malla metálica en el techo. | 50-100 mm en el techo y 30 mm en las paredes.                       | No   |
| IV. Roca mala<br>RMR: 21-40      | Excavación superior y banqueo, avance de 0,5 a 1,5 m en el techo. Instalación de sostenimiento junto con la excavación, a 10 m del frente.                                   | Pernos sistemáticos de 4-5 m de long., espac. 1-1,5 m en el techo y paredes con malla metálica.                  | 100-150 mm en el techo y 100 mm en las paredes.                     | Cerchas ligeras espac. 1,5 m donde se requiera.  |
| V. Roca muy pobre<br>RMR: <20    | Galerías múltiples de avance superior de 0,5 a 1,5 m. Instalará sostenimiento junto con la excavación. Aplicación de shotcrete lo más pronto posible después de la voladura. | Pernos sistemáticos 5-6 m de long., espaciado de 1 a 1,5 m en el techo y las paredes con malla metálica.         | 150-200 mm en el techo, 150 mm en las paredes y 50 mm en el frente. | Cerchas medias a pesadas espaciadas 0,75 m con revestimiento de acero y estacas de avance, de ser necesario. |

En roca buena y regular con RMR entre 61-80, se debe aplicar localmente y sistemáticamente pernos instalados en el techo y

paredes, ocasionalmente con malla metálica.

En Roca regular entre 41-60, se debe aplicar pernos sistemáticos de 4 m de long., espaciamiento 1,5-2 m en el techo y paredes con malla metálica en el techo.

**Con esta demostración, entonces determinamos que el tipo de sostenimiento debe ser con la aplicación de pernos de anclaje.**

### 5.2.3 Análisis tipo de sostenimiento a partir del índice Q de Barton

La clasificación del índice de Q de Barton se halló indirectamente a partir de clasificación de RMR con la siguiente ecuación.

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

$$Q = e^{(RMR-44)/9}$$

$$Q = e^{(63-44)/9}$$

$$Q = 35.48$$

Clasificándose como roca buena a muy buena

Para hacer las estimaciones del sostenimiento a partir del índice Q se define los siguientes parámetros.

$$De = \frac{\text{vano, diámetro o altura de la excavación (m)}}{ESR}$$

ESR (excavation support ratio) es el factor que depende del tipo de excavación, cuyos valores indican en la tabla N° 5.2.

**Tabla N° 5.2: Categoría de excavación**

|   | Tipo de excavación   | ESR       |
|---|--|-----------|
| A | Labores mineras de carácter temporal, etc.   | 2 - 5     |
| B | Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión). Túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámara de compensación hidroeléctrica. | 1,6 – 2,0 |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| C | Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso                                      | 1,2 – 1,3 |
| D | Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril. Refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles. | 0,9 – 1,1 |
| E | Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, tuberías principales de gas.                                | 0,5 – 0,8 |

$$De = \frac{12 \text{ (m)}}{1.6}$$

$$De = 7.5$$

Del gráfico N° 5.3, se tiene un valor de De de 7.5 y un valor Q de 35.48, coloca a la excavación dentro de la categoría (3); de acuerdo a la categoría de refuerzo, el cual requiere un empernado sistemático.

Gráfico N° 5.3: Categorías de sostenimiento del Índice Q de Barton

### 7.2. Clasificación Q

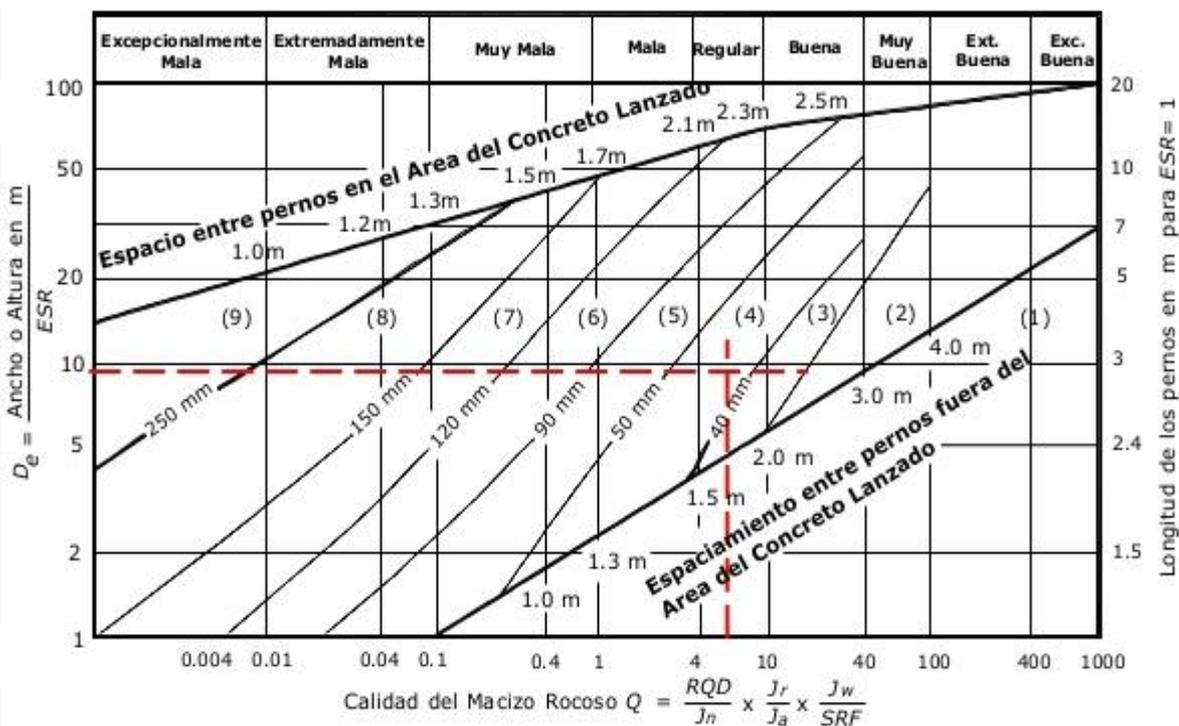
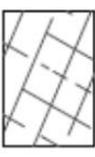


Figura 1 Categorías de sostenimiento estimadas en base al índice Q (Según Grimstad y Barton 1993)

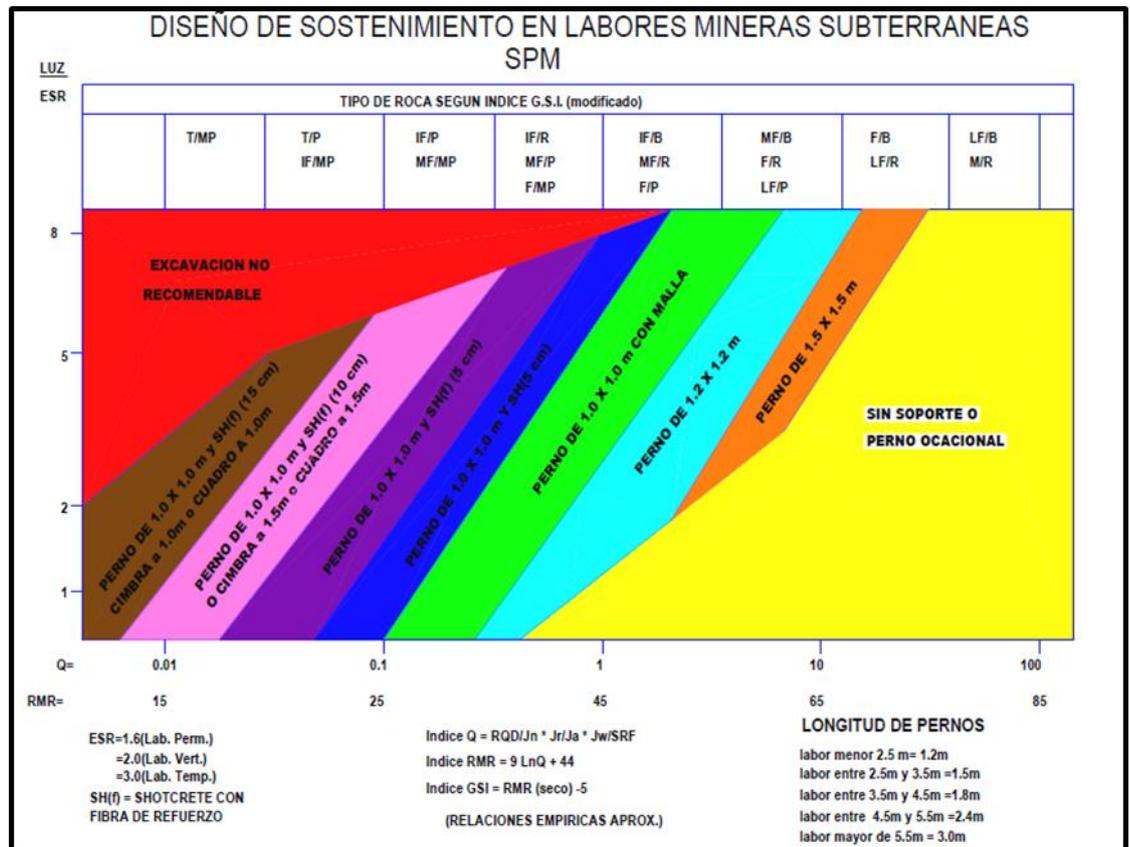
#### 5.2.4 Análisis tipo de sostenimiento asociado al índice GSI

En las Tablas N° 5.4 5.5, del presente estudio, se encuentran desarrollados el diseño de sostenimiento asociado al Índice GSI.

Tabla N° 5.5: Tabla GSI Mina Caspalca

|  <b>MINA CASAPALCA</b><br><b>SOSTENIMIENTO</b><br><b>SEGUN GSI MODIFICADO</b><br><b>LABORES MINERAS DE PREPARACION Y DESARROLLO (2.50 a 5.0 m. de Luz)</b> |   |                                       |      |      |      |       |
|---|---|---------------------------------------|------|------|------|-------|
| <b>ESTRUCTURA</b><br><b>Abaco con relacion RMR</b>  |   | RESISTENCIA Y/O CONDICION SUPERFICIAL |      |      |      |       |
|   |   | (M B)                                 | (B)  | (R)  | (M)  | (MM)  |
| <b>A</b>  | Sin soporte ó perno ocasional. (Control de bloques inestables)<br>TIEMPO COLOCACION: 15 días a 3 meses.                               |                                       |      |      |      |       |
| <b>B</b>  | Perno sistematico. (1.8 x 1.8 m.)<br>TIEMPO COLOCACION: 7 días  |                                       |      |      |      |       |
| <b>U</b>  | Perno sistematico. (1.5 x 1.5 m.) y Malla o Shotcrete con fibra 2" pulg.<br>TIEMPO COLOCACION: 3 días                                 |                                       |      |      |      |       |
| <b>C</b>  | Perno sistematico. (1.2 x 1.2 m.) y Shotcrete con fibra 2" pulg. Cuadros de madera con guarda cabeza.<br>TIEMPO COLOCACION: 1 día     |                                       |      |      |      |       |
| <b>D</b>  | Perno sistematico. (1.0 x 1.0 m.) y Shotcrete con fibra 3" pulg. Cuadros de madera con marchavantes.<br>TIEMPO COLOCACION: Inmediato. |                                       |      |      |      |       |
| <b>I</b>  | CIMBRAS o CUADROS. Esp.= 0.80 a 1.00 m. Soporte preventivo sht. 2" o marchavantes<br>TIEMPO COLOCACION: Inmediato.                    |                                       |      |      |      |       |
| <b>MUY BUENA (MUY RESISTENTE, FRESCA)</b><br>SUPERFICIE DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa) (SE ASTILLA O ROMPE CON MAS DE 04 GOLPES DE LA PICOTA)  |   |                                       |      |      |      |       |
| <b>BUENA (RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA)</b><br>DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEV. ALTERADA, MANCHAS DE OXIDACION, LIGER. ABIERTA. (Rc 100 A 250 MPa) (SE ROMPE CON 03 GOLPES DE LA PICOTA)  |   |                                       |      |      |      |       |
| <b>REGULAR (MODER. RESIST., LEVE A MOD. ALTER.)</b><br>DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADA, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 A 100 MPa) (SE ROMPE CON 02 GOLPES DE LA PICOTA)  |   |                                       |      |      |      |       |
| <b>MALA (BLANDA, MUY ALTERADA)</b><br>SUPERFICIE PULIDA CON ESTRICIONES, MUY ALTERADA, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa) - (SE ROMPE 01 GOLPE DE LA PICOTA) o (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE) o (ESTRICIONES)       |   |                                       |      |      |      |       |
| <b>MUY MALA (MUY BLANDA, EXTREMAD. ALTERADA)</b><br>SUPERFICIE PULIDA Y ESTRIBADA, MUY ABIERTA CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS.(FALLA) (Rc < 25 MPa) (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE)(SE HACE HUECO)                                   |   |                                       |      |      |      |       |
|    |   | A                                     | A    | A    | -    | -     |
|   | 95  | LF/MB                                 | LF/B | LF/R |      |       |
|   | 90  | A                                     | B    | B    |      |       |
|    |   | A                                     | A    | E    | B    | -     |
|   | 85  | F/MB                                  | F/B  | F/R  | F/M  |       |
|   | 80  | B                                     | B    | B    | C    |       |
|    |   | A                                     | E    | E    | C    | C     |
|   | 75  | MF/MB                                 | MF/B | MF/R | MF/M | MF/MM |
|   | 70  | B                                     | B    | C    | D    | E     |
|    |   |                                       | E    | C    | D    | E     |
|   | 65  |                                       | IF/B | IF/R | IF/M | IF/MM |
|   | 60  |                                       | C    | D    | E    | E     |
|   |   | 55                                    | 50   | 45   | 40   | 35    |
|   |   |                                       |      |      |      | 30    |
|   |   |                                       |      |      |      | 25    |
|   |   |                                       |      |      |      | 20    |
|   |   |                                       |      |      |      | 15    |

**Tabla N° 5.6: Diseño de sostenimiento en relación al GSI**



De acuerdo a las características de la masa rocosa, en relación al índice GSI, se va requerir un tipo de sostenimiento con pernos de anclaje.

### 5.2.5 Determinación del tipo de pernos de anclaje

De acuerdo al estudio: “Capacidad de Sostenimiento de los Pernos de Roca en Función de sus Longitudes”, realizado por el MSc. Ing. Mauro Giraldo Paredes Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Quién planteó llevar a cabo las pruebas en bloques de granito dentro del campus de la UNMSM, pero por no reflejar las condiciones reales, se realizaron en la mina Reliquias de la Cía. Minera Castrovirreyna (Huancavelica).

Los pernos estudiados fueron: Split Set, Barras Helicoidales, Hydrabolt y Swellex, convenientemente acondicionados para tener anclajes efectivos de 1, 2, 3 y 4 pies. El Split Sets y Barras Helicoidales, fueron cortados y entregados así, por PRODAC y Aceros Arequipa, respectivamente. Los pernos inflables Hydrabolt y Swellex donados por New Concept Mining y Atlas Copco, fueron entubados para que se expandan únicamente en las longitudes efectivas de anclaje establecidas.

Los resultados de las 51 pruebas realizadas (11 Split Set, 17 Barras Helicoidales, 12 Hydrabolts y 11 Swellex), demuestran que la capacidad de anclaje de los pernos no guarda una relación lineal con sus longitudes, es decir, al duplicar la longitud de un perno, su capacidad de anclaje no necesariamente será el doble. Asimismo, La elongación de los pernos, tiende a guardar una relación lineal con la carga aplicada.

Los pernos Split Set, Hydrabolt y Swellex muestran un anclaje uniforme al variar las longitudes efectivas de anclaje; mientras que el comportamiento de las Barras Helicoidales es irregular, sobre todo cuando se instalan con cemento. Los pernos de mayor y menor capacidad son respectivamente, los Hydrabolts y los Split Sets, así, para 2 pies de longitud efectiva de anclaje sus capacidades son 15,75 ton y 3,75 ton, respectivamente. Los pernos que muestran menor y mayor elongación son los Hydrabolts y el Split Sets, respectivamente. Asimismo, el costo por metro cuadrado sostenido del más bajo al más alto son respectivamente: Hydrabolt (10,95 \$/ m<sup>2</sup>) y la barra Helicoidal con resina (50,67 \$/ m<sup>2</sup>), según análisis de costos al mes de Abril del 2011, y las condiciones y realidades encontradas en la mina Reliquias.

En el estudio mencionado, nos demuestra que la aplicación del perno de anclaje hydrabolt tiene mayor capacidad de anclaje debido a la presión que ejerce permanentemente el agua atrapada en su interior en forma radial contra las paredes del taladro y en toda su longitud; asimismo, los pernos hydrabolt soporta inmediatamente después de su instalación. El perno de más bajo costo por m<sup>2</sup> sostenido, es el Hydrabolt (10,95 \$/m<sup>2</sup>). Por estas consideraciones expuestas, se determina la aplicación para el sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt.

#### **5.2.6 Aplicación de sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt**

El HYDRABOLT, es un perno de fricción activo y de inmediata instalación al que se le inyecta agua a altas presiones de 25 a 30 Mpa (Presión correcta de inflado). Se expande de 29mm a 41mm y debido a su válvula de no retorno, el agua que se mantiene en el interior ejerce presión constante en todo momento, en forma radial a lo largo de la longitud del taladro. Cuando interactúan entre si ayudan a cerrar las fracturas y discontinuidades del macizo rocoso previniendo que se deteriore más rápidamente.

Los Hydrabolt son un sostenimiento inmediato que empiezan a trabajar al momento que ha finalizado el inflado. No necesitan de ningún tipo de aditivo, ni cemento ni resina, solamente el agua y aire comprimido de la mina. Ver figura N° 5.2.

Figura N° 5.2: Perno hydrabolt

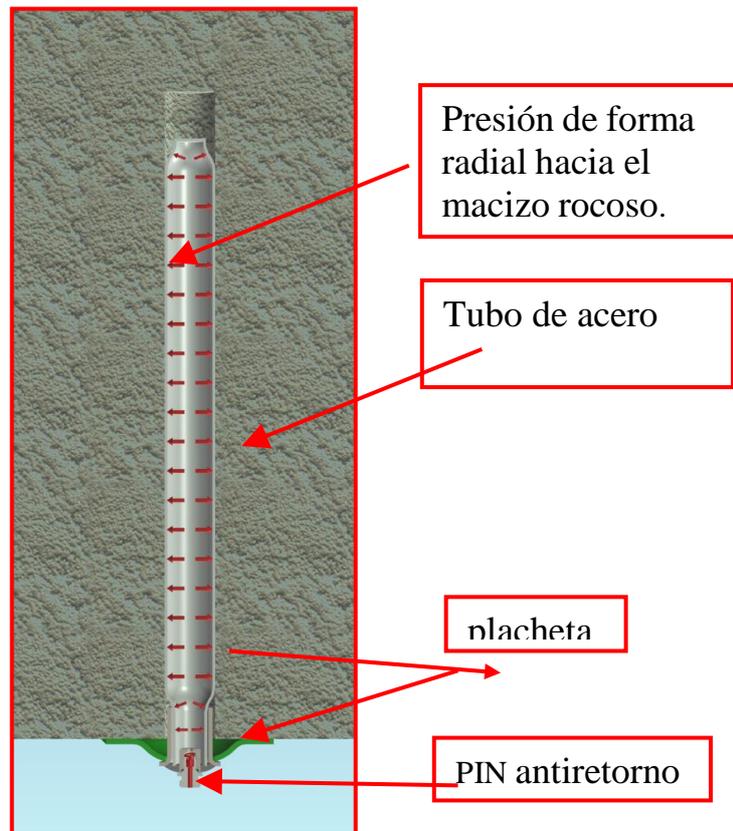
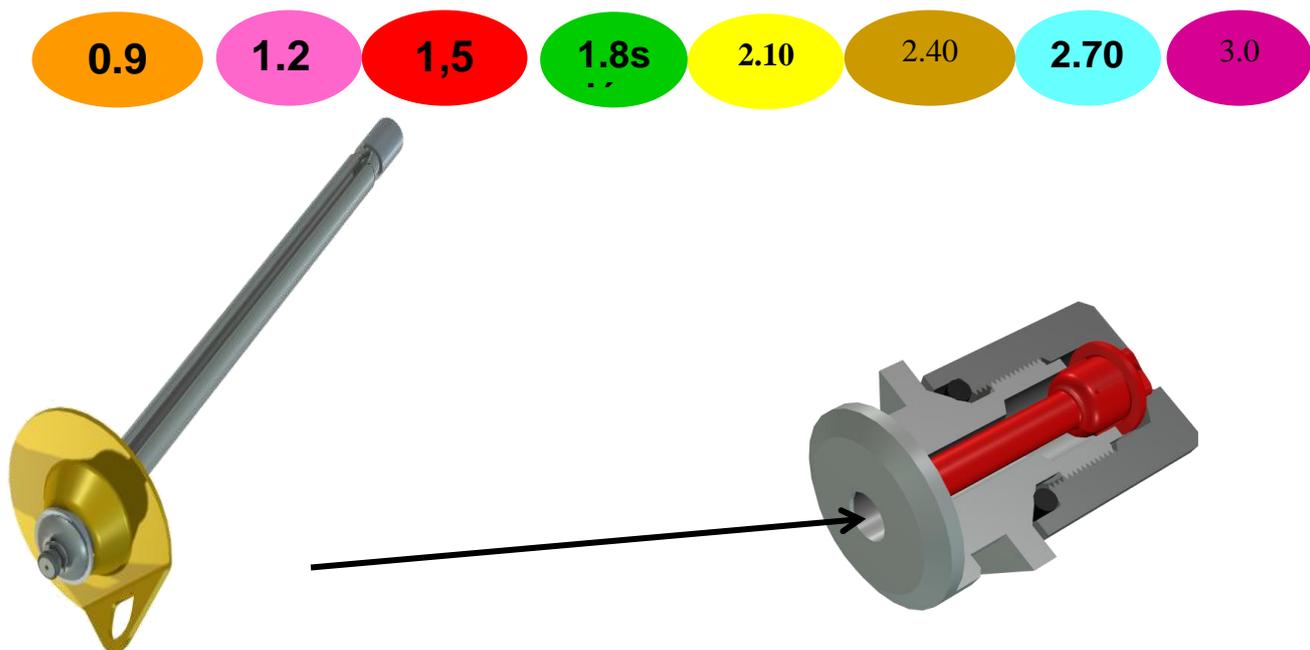


Figura N° 5.3: El color de PIN codifica la longitud del Hydrabolt (mts).



En este caso el color rojo es longitud es de 5 pies.

### 5.2.6.1 Características técnicas

1. El Hydrabolt es un tubo fabricado de acero en forma de C y sellado en ambos extremos, con un niple hidráulico en un extremo y válvula antiretorno que permite conexión a una bomba hidráulica, la cual se expande con agua a altas presiones de 25 – 30 Mpa (siendo 30 Mpa la presión adecuada de inflado).
2. El Hydrabolt ha sido diseñado para facilitar la comodidad de la instalación rápida y fácil, presionando el interior del taladro, adaptando a la forma, tamaño e irregularidades del taladro y distribuir la fuerza a lo largo de la longitud del taladro, evitando la relajación inicial, ó agrietamiento inicial por esfuerzos, ó la liberación de esfuerzos mediante la abertura de fracturas o diaclasamientos, proporcionando un entorno de trabajo seguro.
3. El perno es de diámetro 29 mm y se expande a 41 mm y debido a su válvula de no retorno. Carga distribuida uniforme en toda la longitud del taladro
4. Debido a la permanencia del agua y un correcto inflado se obtiene en promedio 10 toneladas de resistencia, al interactuar perno roca inmediatamente empieza a trabajar evitando que se deteriore más rápidamente las cajas. Soporte inmediato
5. El Hydrabolt es un anclaje de compresión y fricción axial que confina el macizo rocoso para generar un arco de auto-soporte con las propia rocas fracturadas e intensamente fracturada y débil, los pernos confieren nuevas propiedades a la roca que rodea la excavación. Instalados en forma radial, cada perno crea un bulbo de resistencia, el cual al interactuar con los bulbos de los demás pernos adyacentes forman un arco rocoso

portante que trabaja a compresión denominado “Efecto Arco” el mismo que da estabilidad a la excavación.

6. Seguro y accesible, Amplio rango de expansión, No le afectan las vibraciones producto de la voladura.

#### 5.2.6.2 Accesorios de instalación

Bomba de alta presión que es capaz de proporcionar agua 30MPa de presión

Pistola de seguridad de alta presión

Manómetro de presión Jackpot

Bomba manual Jackpot



Está diseñado para el Hydrabolt como para los jackpots





Foto N° 5.1: Perforación de los taladro en corona.

- 2) Se colocan los Pernos Hydrabolt de 5 y 7 pies en los taladros de 5 pies y 7 pies respectivamente, para proceder a inflarlo con la bomba de alta presión. Ver foto N° 5.2.



Foto N° 5.2: Instalación del Hydrabolt.

- 3) Una vez colocados los Pernos Hydrabolt en sus respectivos taladros, se retira la protección plástica de la

válvula, revisando que la válvula esté limpia y libre de alguna partícula contaminante, si así lo fuese, se tendrá que lavar la válvula.

- 4) Se Conectan las Líneas de Aire Comprimido y Agua a las entradas de la Bomba de Aire de Alta Presión, abriendo primero la válvula de ingreso del agua, esto evita que la bomba se “ahogue”, para esto la válvula de alivio de presión de la Pistola estará desbloqueada, luego conectamos el Manómetro de Presión Hydrabolt en la boquilla al final de la manguera para posteriormente presionar el gatillo. Ver foto N° 5.3.



Foto N° 5.3: Bomba de Alta Presión

- 5) Posicionamos la Boquilla de la manguera, de la Bomba de Aire de Alta Presión, y presionamos el gatillo de la Pistola de Seguridad para empezar a bombear el agua al Perno Hydrabolt, esto hará que el Hydrabolt empiece a expandirse, se continuará bombeando hasta que el agua salga por la válvula de alivio de la Pistola de Seguridad, finalizando con el retiro de la Boquilla del Perno Hydrabolt, para esto el Indicador de Carga ya no es visible. Ver foto

N° 5.4.

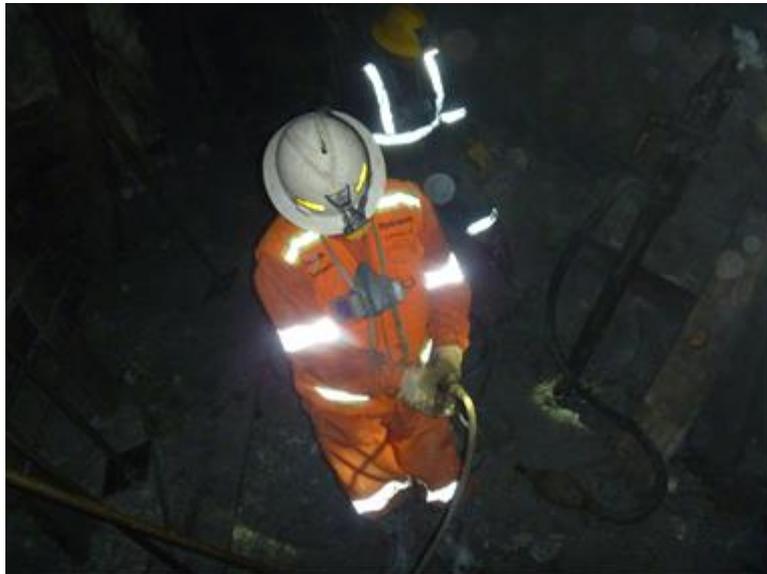


Foto N° 5.4: Presionando el gatillo de la pistola

- 6) La presión correcta de salida debe estar entre el intervalo de 25 MPa a 30 MPa, en caso no este con la presiones indicadas el seguro de bloqueo no activara del hydrabolt el cual no sera inflado correctamente.

## **5.2.8 Pull Test o Pruebas de Tracción a los Pernos Hydrabolt**

### **5.2.8.1 Máquinas y Accesorios Requeridos.**

- Enerpac de 20 Toneladas de Capacidad de Tracción.
- Accesorios (Uña, Pistón, Bastidor, etc.).
- Vernier o Flexómetro.

### **5.2.8.2 Secuencia y descripción del pull test o prueba de tracción de los pernos hydrabolt**

- 1) Instalado del equipo Arracador de pernos. Ver foto N° 5.5



Foto N° 5.5: Instalado correcto de equipo Bolt Test

- 2) Se instala el Enerpac de 20 toneladas de capacidad de tracción con sus respectivos accesorios, el Enerpac tiene la función de generar la tracción que se aplicará sobre el Perno Hydrabolt de 5 pies y 7 pies que ya están colocados en sus respectivos taladros.
- 3) Se coloca la Uña fijándola al Cabezal del Perno Hydrabolt de 5 pies y 7 pies, ésta uña tiene la función de realizar la tracción que se aplicará sobre el Perno, midiendo aquí la longitud de desplazamiento del Perno en la Prueba de Tracción.
- 4) Se activa el Enerpac para producir la presión de tracción necesaria y registrar la Capacidad de Carga del Perno Hydrabolt de 5 pies y 7 pies de acuerdo al desplazamiento ocasionado, vale decir que el desplazamiento está en función de la Presión de Tracción ejercida sobre el Perno Hydrabolt.
- 5) Se registra, con Vernier o Flexómetro, el Desplazamiento ocasionado por la Presión de Tracción inducida sobre los

Pernos Hydrabolt de 5 pies y 7 pies. Ver foto N° 5.6.



**Foto N° 5.6: Midiendo el desplazamiento**

- 6) Se determina la Capacidad de Carga de los Pernos Hydrabolt de 5 pies y 7 pies, de acuerdo con la Presión de Tracción a la que fueron sometidos y como resultado se rompe el cabezal del Perno Hydrabolt. Ver foto N° 5.7.



**Foto N° 5.7: Resultado final.**

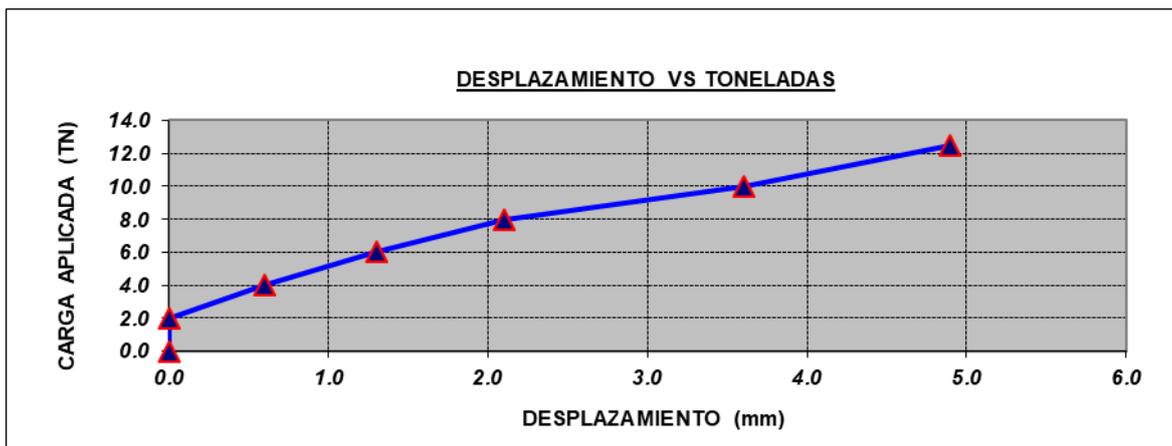
A continuación se presenta 04 cuadros de ensayo:  
**NV. 4 – GL 765 - ZONA BAJA**

**ENSAYO N° 01****PULL - TESTER****BASE DE DATOS PARA LA EVALUACION DE  
PERNOS DE ROCA**

| ENSAYO N°       | 1                     |
|-----------------|-----------------------|
| FECHA           | 26/04/2017            |
| NIVEL           | 4                     |
| LABOR           | GL 765                |
| TIPO DE ROCA    | ARENISCA SILICIFICADA |
| GSI             | F/R                   |
| TIPO DE PERNO   | HYDRABOLT             |
| LONGITUD        | 10 PIES               |
| DIAMETRO PERNO. | 29 mm.                |
| DIAMETRO TAL.   | 38 mm                 |

| CARGA APLICADA (TN) | DESPLAZAMIENTO (mm) |
|---------------------|---------------------|
| 0.00                | 0.0                 |
| 2.00                | 0.0                 |
| 4.00                | 0.6                 |
| 6.00                | 1.3                 |
| 8.00                | 2.1                 |
| 10.00               | 3.6                 |
| 12.50               | 4.9                 |
|                     |                     |
|                     |                     |

**OBSERVACIONES:** Tiempo de instalación 30 Minutos. Muestreo sin Placa



El Perno hydrabolt testado tiene una carga portante de 12.5 TN. Teniendo como Máximo desplazamiento 4,9 mm.



## ENSAYO N° 02

## PULL - TESTER

BASE DE DATOS PARA LA EVALUACION DE  
PERNOS DE ROCA

| ENSAYO N°       | 2                     | CARGA APLICADA (TN) | DESPLAZAMIENTO (mm) |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| FECHA           | 26/04/2017            | 0.00                | 0.0                 |
| NIVEL           | 4                     | 2.00                | 0.1                 |
| LABOR           | GL 765                | 4.00                | 0.5                 |
| TIPO DE ROCA    | ARENISCA SILICIFICADA | 6.00                | 1.8                 |
| GSI             | F/R                   | 8.00                | 3.3                 |
| TIPO DE PERNO   | HYDRABOLT             | 10.00               | 4.7                 |
| LONGITUD        | 10 PIES               | 12.00               | 4.7                 |
| DIAMETRO PERNO. | 29 mm.                |                     |                     |
| DIAMETRO TAL.   | 38 mm                 |                     |                     |

OBSERVACIONES: Tiempo de instalación 30 Minutos. Muestreo sin Placa



El Perno hydrabolt testado tiene una carga portante de 12 TN. Teniendo como Maximo desplazamiento 4,7 mm.



## ENSAYO N° 03

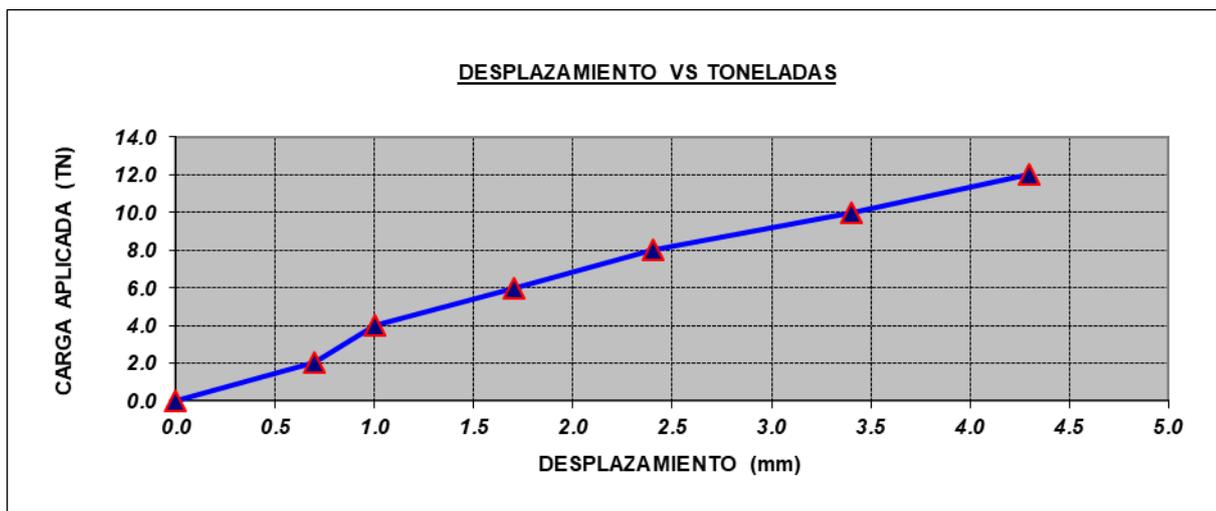
## PULL - TESTER

BASE DE DATOS PARA LA EVALUACION DE  
PERNOS DE ROCA

| ENSAYO N°       | 3                     |
|-----------------|-----------------------|
| FECHA           | 26/04/2017            |
| NIVEL           | 4                     |
| LABOR           | GL 765                |
| TIPO DE ROCA    | ARENISCA SILICIFICADA |
| GSI             | F/R                   |
| TIPO DE PERNO   | HYDRABOLT             |
| LONGITUD        | 10 PIES               |
| DIAMETRO PERNO. | 29 mm.                |
| DIAMETRO TAL.   | 38 mm                 |
| TIPO DE ANCLAJE | Presion               |

| CARGA APLICADA (TN) | DESPLAZAMIENTO (mm) |
|---------------------|---------------------|
| 0.00                | 0.0                 |
| 2.00                | 0.7                 |
| 4.00                | 1.0                 |
| 6.00                | 1.7                 |
| 8.00                | 2.4                 |
| 10.00               | 3.4                 |
| 12.00               | 4.3                 |
|                     |                     |
|                     |                     |
|                     |                     |

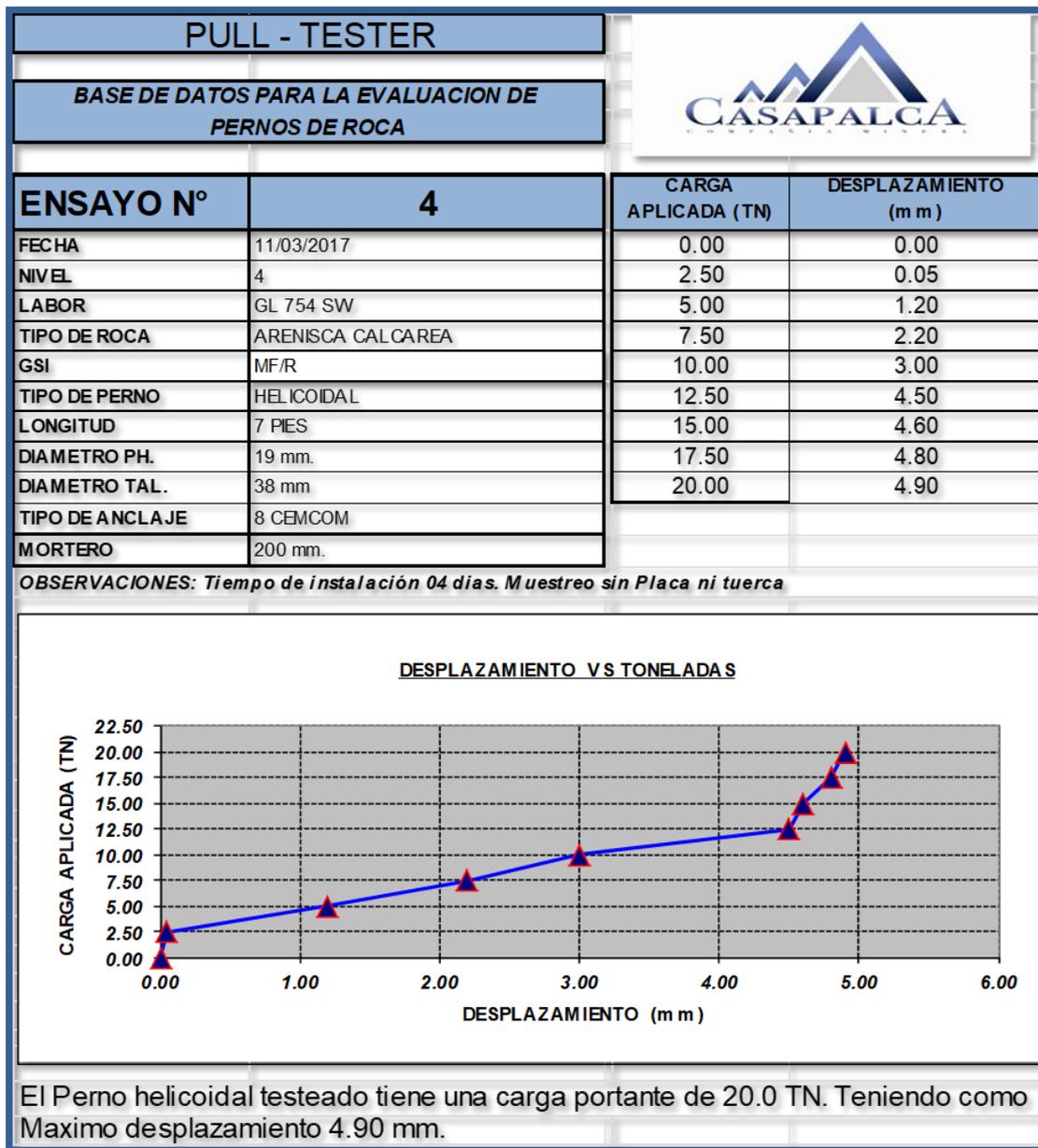
OBSERVACIONES: Tiempo de instalación 30 Minutos. Muestreo sin Placa



El Perno hydrabolt testado tiene una carga portante de 20 TN. Teniendo como Maximo desplazamiento 4.3 mm.



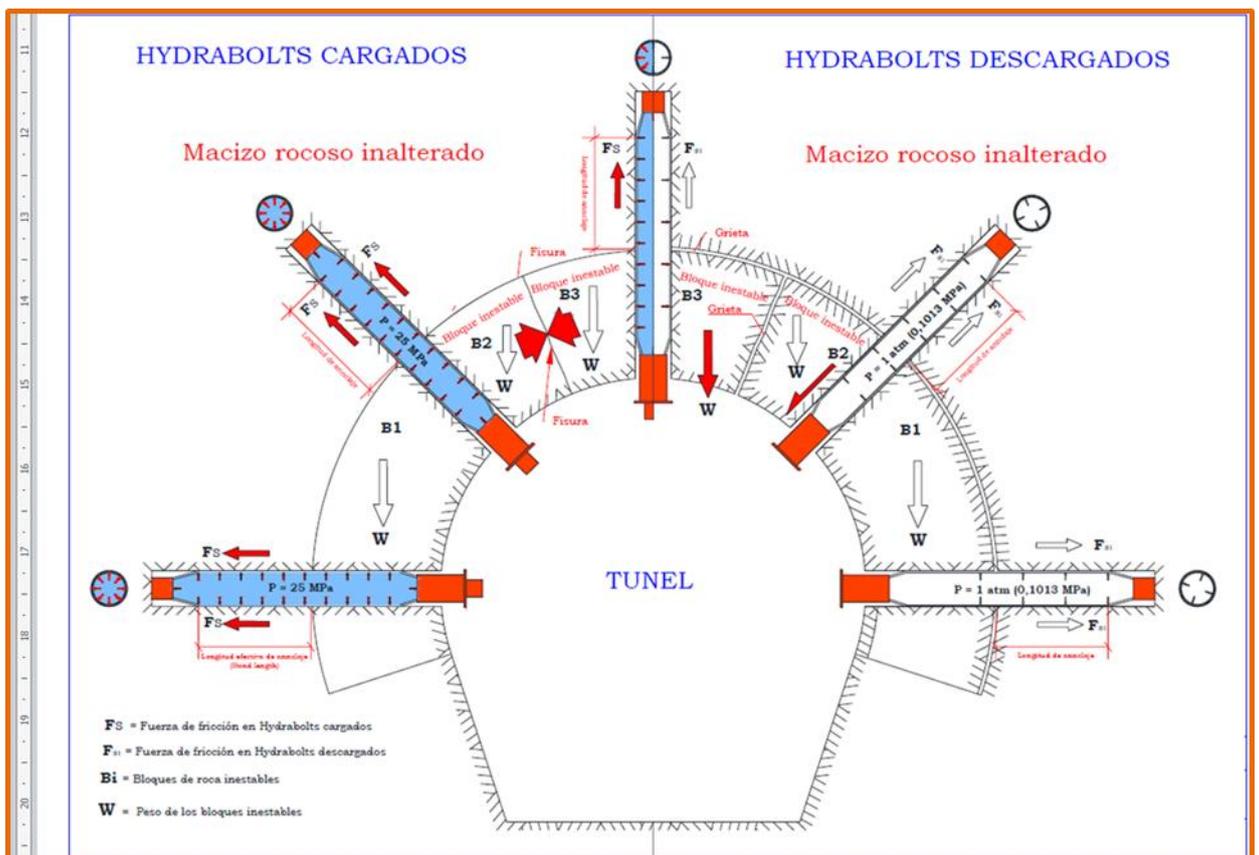
## ENSAYO N° 04



## RESUMEN DE PRUEBA DE ARRANQUE CON EQUIPO PULL TEST

| GL 754 SW - Nv. 4 |                            |                            |              |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| PERNO             | CARGA PORTANTE (Toneladas) | DESPLAZAMIENTO MAXIMO (mm) | MORTERO (mm) |
| 1                 | 17.5                       | 6.8                        | 580          |
| 2                 | 20                         | 1.3                        | 330          |
| 3                 | 20                         | 1.6                        | 420          |
| 4                 | 20                         | 4.9                        | 200          |

## ANALISIS COMPARATIVO DE RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE ANCLAJE DE LOS HYDRABOLTS CARGADOS Y DESCARGADOS



### 5.3 CONTRASTACIÓN DE HIPOTESIS

Para llevar a cabo la contrastación de hipótesis, se considera la siguiente hipótesis planteada.

Si se realiza la caracterización geomecánica de la masa rocosa entonces se analizará la instalación de los pernos hydrabolt para el sostenimiento de labores subterráneas en la Compañía Minera Casapalca.

Para determinar la contrastación; se realizó la caracterización geomecánica considerando el estudio geomecánico de la zona y su entorno físico en base a datos litológicos - estructurales tomados en el campo a través de un mapeo geológico - geotécnico, utilizando el método de "Líneas de Detalles" para cada dominio estructural, estimando parámetros resistentes de la roca. En el trabajo de gabinete se empleó técnicas como la proyección estereográfica y aplicación de softwares como el DIPS; asimismo, se determinó los parámetros de la masa rocosa en relación al índice geomecánico RMR.

En cuanto se refiere al análisis para la instalación de los pernos hydrabolt; se analizaron los diferentes tipos de sostenimiento referidos a los índices geomecánicos como son: RMR, índice Q de Barton y GSI, llegando a la conclusión de aplicar a la masa rocosa en relación a las excavaciones subterráneas el tipo de sostenimiento mediante pernos de anclaje. Así también, de acuerdo a un estudio realizado por el MSc. Ing. Mauro Giraldo Paredes Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a través de los pernos de anclaje: Split Set, Barras Helicoidales, Hydrabolt y Swellex; concluye, que los pernos hydrabolt tiene mayores ventajas en relación a los otros tipos de perno. Se describe la aplicación de sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt, sus características técnicas, sus accesorios de instalación, sus ventajas, la instalación de estos pernos de anclaje. Y se concluye con la descripción del pull test o

pruebas de tracción a los pernos hydrabolt de 5 y 7 pies.

### 5.3.1 Hipótesis específica

- A.** Mediante la caracterización geomecánica, se determinará los parámetros y la calidad de la masa rocosa en relación a la excavación subterránea.

Para la caracterización de la masa rocosa de la Mina Casapalca, se registraron los datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, utilizando el “método directo por celdas de detalle”. Los parámetros que se tomaron en cuenta son: Tipo de roca, sistema de discontinuidades, orientación, espaciado, rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno, intemperización y presencia de agua.

Asimismo, para la caracterización de la masa rocosa se ha considerado los Cuerpo Mery, Esperanza, Chiara; Zona Esperanza (Veta Esperanza); Zona Oroya (veta Oroya), se tomaron datos de las discontinuidades presentes en la roca expuesta de los niveles: 1B,1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, y 14 de la mina; considerando: la calidad de roca, sistemas de discontinuidades principales y orientación con respecto al eje del proyecto (Geoestructural) e información con respecto a pruebas de laboratorio presentes en la zona. También se calculan los valores del RMR que se encuentrsn entre 68 y 59 respectivamnte.

- B.** Con el análisis de la aplicación de los pernos hydrabolt se mejora el sostenimiento de las labores subterráneas.

De acuerdo al estudio de los parámetros de la masa rocosa, se determina un conjunto de valores de RMR entre 68 y 59 en relación a la estructura mineralizada y roca encajonante. En base a estos resultados, se interpreta el tipo de sostenimiento en base

a la tabla N° 5.1, determinándose la aplicación de pernos de roca de manera puntual y sistemática respectivamente. También se realizó el análisis del índice Q de Barton, de acuerdo al gráfico N° 5.3, se tiene un valor de De de 7.5 y un valor Q de 35.48, coloca a la excavación dentro de la categoría (3); de acuerdo a la categoría de refuerzo, el cual requiere un empernado sistemático. Asimismo, se realizó el análisis asociado al índice GSI y de acuerdo a los resultados de las tablas 5.4 y 5.5, se requiere el tipo de sostenimiento con pernos de anclaje.

Se determina la aplicación de los pernos hydrabolt, mediante el estudio: "Capacidad de Sostenimiento de los Pernos de Roca en Función de sus Longitudes", realizado por el MSc. Ing. Mauro Giraldo Paredes Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; a través de los pernos: Split Set, Barras Helicoidales, Hydrabolt y Swellex. En el estudio mencionado, demuestra que la aplicación del perno de anclaje hydrabolt tiene mayor capacidad de anclaje debido a la presión que ejerce permanentemente el agua atrapada en su interior en forma radial contra las paredes del taladro y en toda su longitud; asimismo, los pernos hydrabolt soporta inmediatamente después de su instalación. El perno de más bajo costo por m<sup>2</sup> sostenido, es el Hydrabolt (10,95 \$/m<sup>2</sup>). Por estas consideraciones expuestas, se determina la aplicación para el sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt.

Se describe, la aplicación de sostenimiento con pernos de anclaje hydrabolt; que es un perno de fricción activo y de inmediata instalación al que se le inyecta agua a altas presiones de 25 a 30 Mpa (Presión correcta de inflado). Se expande de 29mm a 41mm y debido a su válvula de no retorno, el agua que se mantiene en el interior ejerce presión constante en todo momento, en forma radial a lo largo de la longitud del taladro. Cuando interactúan entre si

ayudan a cerrar las fracturas y discontinuidades del macizo rocoso previniendo que se deteriore más rápidamente. También se describe la instalación de los Pernos Hydrabolt, la prueba tracción de los pernos hydrabolt conocido como pull test.

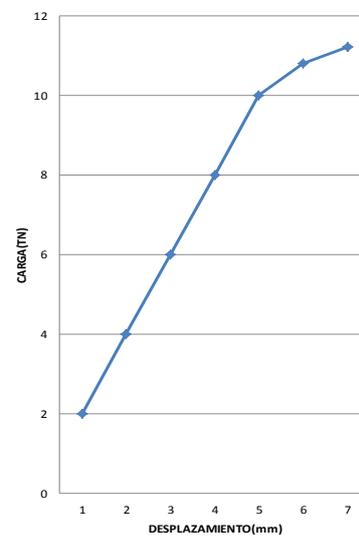
#### **5.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

La caracterización geomecánica de la masa rocosa, se realizó a través del mapeo geomecánico de las labores mineras en la mina Casapalca, considerando la estructura mineralizada, caja piso y caja techo, evidenciando que presentan valores de acuerdo al RMR de Bieniawski del tipo II y III; asimismo, se determinó los esfuerzos de compresión uniaxial en los laboratorios de la Universidad Pontificia La Católica del Perú, obteniéndose valores que permiten el sostenimiento a través de pernos de anclaje.

Según el procedimiento señalado en el Marco Teórico del presente estudio y aplicando los datos obtenidos de la caracterización geomecánica en relación a la masa rocosa; mediante el análisis de los índices geomecánicos como: RMR de Bieniawski entre 68 y 59, del índice Q de Barton con un valor de 35.48 y su valor del diámetro equivalente de 7.5 y el análisis del índice GSI con datos de LF/MB, LF/R, F/MB y F/R, se determina que la masa rocosa debe ser sostenida con pernos de anclaje, y a través de un estudio realizado se demuestra que los pernos de anclaje hydrabolt tienen mejores ventajas en relación a los otros tipos de pernos en cuanto a la estabilidad de la masa rocosa y costos; asimismo, se demostró su aplicación a través de la prueba de tracción, cuyos resultados se menciona en los siguientes cuadros:

| CASAPALCA                            |  | FORMATO PRUEBA DE ARRANQUE          |                          |   |                     |
|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|---|---------------------|
| UNIDAD MINERA CASAPALCA              |  |                                     |                          |   |                     |
| EMPRESA :                            | E.E CONMIRO  | TIPO DE PRUEBA                      | PRUEBA DE PULL TEST      |   |                     |
| PRUEBA N°:                           | 1  | PROVEEDOR                           | NEW CONCEPT MINING       |   |                     |
| TIPO DE PERNO:                       | HYDRABOLT  |                                     |                          |   |                     |
| CARACTERISTICAS GENERALES            |  | CARACTERISTICAS DE ANLAJE           |                          | PARTICIPANTES                               |                     |
| FECHA:                               | 18/10/2012   | DIAMETRO DE LA BROCA (mm):          | 38                       | ROGER ROJAS, TIOFOLO ESPINOZA, GILMER CHAUA |                     |
| SECCION:                             | 4.0 X 2.7  | DIAMETRO DEL PERNO (mm):            | 41                       |   |                     |
| LABOR:                               | TAJEO 200  | LONGITUD DE TALADRO(pies):          | 4.5                      |   |                     |
| NIVEL:                               | 13   | TIPO DE BARRENOS UTILIZADOS:        | 2,4,6                    | OTRAS CARACTERISTICAS:                      |                     |
| FECHA DE INSTALACION:                | 18/10/2012   | LONG. PERNO (pies)                  | 5                        | TIPO DE RESINA:                             |                     |
| POSICION :                           |   | TORQUE APLICADO:                    |                          | PROVEEDOR RESINA:                           |                     |
|                                      |  | TAMAÑO DE PLACA:                    |                          | FECHA DE FABRICACION:                       |                     |
|                                      |  | ESPESOR DE LA PLACA:                |                          | CANTIDAD UTILIZADA:                         |                     |
|                                      |  | Diferencia $\phi$ perno/broca (mm): | 3                        | LONG. CARTUCHO:                             |                     |
|                                      |  |                                     |                          | TIEMPO DE FRAGUADO:                         |                     |
| CONDICIONES GEOLOGICAS-GEOMECHANICAS |  |                                     |                          |   |                     |
| LITOLOGIA:                           | MINERAL  |                                     |                          |   |                     |
| CLASIFICACION GEOMECHANICA:          |  |                                     |                          |   |                     |
| GSI                                  | MF/M   |                                     |                          |   |                     |
| Q                                    |  |                                     |                          |   |                     |
| RMR                                  | 37   |                                     |                          |   |                     |
| CONDICIONES ESTRUCTURALES:           | FRACTURAS CON RELLENOS DE PANIZO Y DISEMINACION  |                                     |                          |   |                     |
| N° DE ANLAJES COLOCADAS:             | 3  |                                     |                          |   |                     |
| OBS:                                 | NINGUNA  |                                     |                          |   |                     |
| DESCRIPCION DE LA PRUEBA             |  |                                     |                          |   |                     |
| N°                                   | HORA   | TIEMPO DE PRUEBA                    | CARGA EN MANOMETRO (PSI) | CARGA EN EL PERNO (TN)                      | DESPLAZAMIENTO (mm) |
| 1                                    | 5:25PM   | 20 MIN                              | 1000                     | 2   | 0                   |
| 2                                    |  |                                     | 2000                     | 4   | 1                   |
| 3                                    |  |                                     | 3000                     | 6   | 3                   |
| 4                                    |  |                                     | 4000                     | 8   | 5                   |
| 5                                    |  |                                     | 5000                     | 10  | 9                   |
| 6                                    |  |                                     | 5400                     | 10.8  | 12                  |
| 7                                    |  |                                     | 5600                     | 11.2  | 13                  |
| 8                                    |  |                                     |                          |   |                     |
| RESULTADOS                           |  |                                     |                          |   |                     |
| MAXIMO ESFUERZO APLICADO:            | 11.2 TN  |                                     |                          |   |                     |
| % ESFUERZO:                          | 100 %  |                                     |                          |   |                     |
| DESPLAZAMIENTO AL %:                 | 17 mm  |                                     |                          |   |                     |
| ESFUERZO DE ARRANQUE:                | 2.24 T n /pies   |                                     |                          |   |                     |
| CARACTERISTICAS DE LA FALLA:         | FALLA POR FISURA DE LA PESTAÑA DEL COLLARIN  |                                     |                          |   |                     |
| OTRAS OBSERVACIONES:                 |  |                                     |                          |   |                     |
| EJECUTADO POR                        | Area de Geomecanica  |                                     |                          |   |                     |
|                                      | <br>Tec. Adan Fernandez H.<br>Supervisor de Geomecanica |                                     |                          |   |                     |

DIAGRAMA DE LA PRUEBA



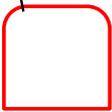


### FORMATO PRUEBA DE ARRANQUE

#### UNIDAD MINERA CASAPALCA

EMPRESA : E.E CONMIRO  
 PRUEBA N°: 3  
 TIPO DE PERNO: HYDRABOLT

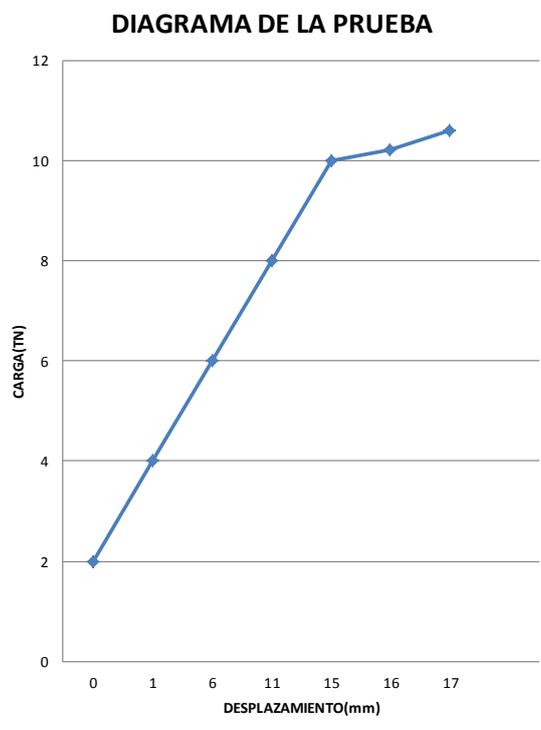
TIPO DE PRUEBA PRUEBA DE PULL TEST  
 PROVEEDOR NEW CONCEPT MINING

| CARACTERISTICAS GENERALES |   | CARACTERISTICAS DE ANCLAJE          |            | PARTICIPANTES                             |  |
|---------------------------|---|-------------------------------------|------------|---|--|
| FECHA:                    | 18/10/2012  | DIAMETRO DE LA BROCA (mm):          | 38         | ROGER ROJAS,TIOFOLO ESPINOZA,GILMER CHAUA |  |
| SECCION:                  | 4.0 X 2.7   | DIAMETRO DEL PERNO (mm):            | 41         |   |  |
| LABOR:                    | TAJEO 200   | LONGITUD DE TALADRO(pies):          | 4.5        | <b>OTRAS CARACTERISTICAS:</b>             |  |
| NIVEL:                    | 13  | TIPO DE BARRENOS UTILIZADOS:        | 2,4 ,6 y 8 |   |  |
| FECHA DE INSTALACION:     | 18/10/2012  | LONG. PERNO (pies)                  | 7          | TIPO DE RESINA:                           |  |
| POSICION :                |  | TORQUE APLICADO:                    |            | PROVEEDOR RESINA:                         |  |
|                           |   | TAMAÑO DE PLACA:                    |            | FECHA DE FABRICACION:                     |  |
|                           |   | ESPESOR DE LA PLACA:                |            | CANTIDAD UTILIZADA:                       |  |
|                           |   | Diferencia $\phi$ perno/broca (mm): | 3          | LONG. CARTUCHO:                           |  |
|                           |   |                                     |            | TIEMPO DE FRAGUADO:                       |  |

| CONDICIONES GEOLOGICAS-GEOMECANICAS |   |
|-------------------------------------|---|
| LITOLOGIA:                          | MINERAL   |
| CLASIFICACION GEOMECANICA:          |   |
| GSI                                 | MF/M  |
| Q                                   |   |
| RMR                                 | 37  |
| CONDICIONES ESTRUCTURALES:          | FRACTURAS CON RELLENOS DE PANIZO Y DISEMINACION |
| N° DE ANCLAJES COLOCADAS:           | 3   |
| OBS:                                | NINGUNA   |

| DESCRIPCION DE LA PRUEBA |        |                  |                         |                       |                     |
|--------------------------|--------|------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| N°                       | HORA   | TIEMPO DE PRUEBA | CARGA EN MANOMETRO(PSI) | CARGA EN EL PERNO(TN) | DESPLAZAMIENTO (mm) |
| 1                        | 4.00PM | 20 MIN           |                         | 2                     | 0                   |
| 2                        |        |                  |                         | 4                     | 1                   |
| 3                        |        |                  |                         | 6                     | 6                   |
| 4                        |        |                  |                         | 8                     | 11                  |
| 5                        |        |                  |                         | 10                    | 15                  |
| 6                        |        |                  |                         | 10.2                  | 16                  |
| 7                        |        |                  |                         | 10.6                  | 17                  |
| 8                        |        |                  |                         |                       |                     |

| RESULTADOS                   |   |
|------------------------------|---|
| MAXIMO ESFUERZO APLICADO:    | 10.6 TN                                     |
| % ESFUERZO:                  | 100 %                                       |
| DESPLAZAMIENTO AL %:         | 17 mm                                       |
| ESFUERZO DE ARRANQUE:        | 1.51 T n /pies                              |
| CARACTERISTICAS DE LA FALLA: | FALLA POR FISURA DE LA PESTAÑA DEL COLLARIN |
| OTRAS OBSERVACIONES:         |   |



EJECUTADO POR Area de Geomecanica



Tec. Adan Fernandez H.  
Supervisor de Geomecanica



### FORMATO PRUEBA DE ARRANQUE

#### UNIDAD MINERA CASAPALCA

EMPRESA : E.E CONMIRO TIPO DE PRUEBA PRUEBA DE PULL TEST  
 PRUEBA N°: 2 PROVEEDOR NEW CONCEPT MINING  
 TIPO DE PERNO: HYDRABOLT

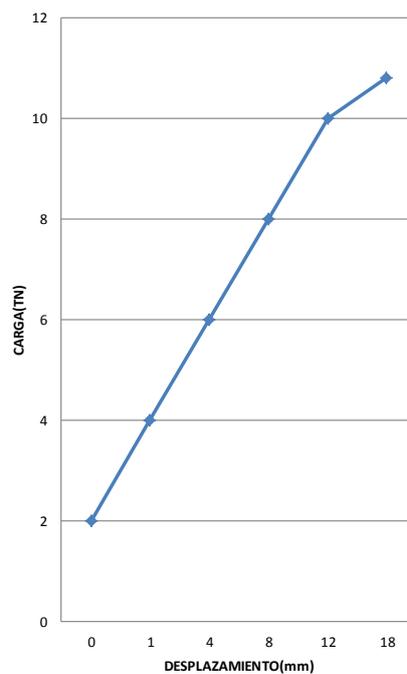
| CARACTERISTICAS GENERALES |   | CARACTERISTICAS DE ANCLAJE          |           | PARTICIPANTES                                  |  |
|---------------------------|---|-------------------------------------|-----------|--|--|
| FECHA:                    | 18/10/2012  | DIAMETRO DE LA BROCA (mm):          | 38        | ROGER ROJAS, TIOFOLO<br>ESPINOZA, GILMER CHAUA |  |
| SECCION:                  | 4.0 X 2.7   | DIAMETRO DEL PERNO (mm):            | 41        |  |  |
| LABOR:                    | TAJEO 200   | LONGITUD DE TALADRO (pies):         | 4.5       |  |  |
| NIVEL:                    | 13  | TIPO DE BARRENOS UTILIZADOS:        | 2,4,6 y 8 | <b>OTRAS CARACTERISTICAS:</b>                  |  |
| FECHA DE INSTALACION:     | 18/10/2012  | LONG. PERNO (pies)                  | 7         | TIPO DE RESINA:                                |  |
| POSICION :                |  | TORQUE APLICADO:                    |           | PROVEEDOR RESINA:                              |  |
|                           |   | TAMAÑO DE PLACA:                    |           | FECHA DE FABRICACION:                          |  |
|                           |   | ESPESOR DE LA PLACA:                |           | CANTIDAD UTILIZADA:                            |  |
|                           |   | Diferencia $\phi$ perno/broca (mm): | 3         | LONG. CARTUCHO:                                |  |
|                           |   |                                     |           | TIEMPO DE FRAGUADO:                            |  |

| CONDICIONES GEOLOGICAS-GEOMECANICAS |   |
|-------------------------------------|---|
| LITOLOGIA:                          | MINERAL   |
| CLASIFICACION GEOMECANICA:          |   |
| GSI                                 | MF/M  |
| Q                                   |   |
| RMR                                 | 37  |
| CONDICIONES ESTRUCTURALES:          | FRACTURAS CON RELLENOS DE PANIZO Y DISEMINACION |
| N° DE ANCLAJES COLOCADAS:           | 3   |
| OBS:                                | NINGUNA   |

| DESCRIPCION DE LA PRUEBA |         |                  |                          |                        |                     |
|--------------------------|---------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| N°                       | HORA    | TIEMPO DE PRUEBA | CARGA EN MANOMETRO (PSI) | CARGA EN EL PERNO (TN) | DESPLAZAMIENTO (mm) |
| 1                        | 4.30 PM | 20 MIN           | 1000                     | 2                      | 0                   |
| 2                        |         |                  | 2000                     | 4                      | 1                   |
| 3                        |         |                  | 3000                     | 6                      | 4                   |
| 4                        |         |                  | 4000                     | 8                      | 8                   |
| 5                        |         |                  | 5000                     | 10                     | 12                  |
| 6                        |         |                  | 5400                     | 10.8                   | 18                  |
| 7                        |         |                  | 0                        | 0                      | 0                   |
| 8                        |         |                  |                          |                        |                     |

| RESULTADOS                   |   |
|------------------------------|---|
| MAXIMO ESFUERZO APLICADO:    | 10.6 TN                                     |
| % ESFUERZO:                  | 100 %                                       |
| DESPLAZAMIENTO AL %:         | 17 mm                                       |
| ESFUERZO DE ARRANQUE:        | 1.51 T n /pies                              |
| CARACTERISTICAS DE LA FALLA: | FALLA POR FISURA DE LA PESTAÑA DEL COLLARIN |
| OTRAS OBSERVACIONES:         |   |

#### DIAGRAMA DE LA PRUEBA



EJECUTADO POR Area de Geomecanica

Tec. Adan Fernandez H.  
Supervisor de Geomecanica

## CONCLUSIONES

1. Por las características de los datos recopilados se utilizó un diseño descriptivo simple del tipo transeccional no experimenta, porque la investigación que se realiza es observar fenómenos y analizarlos en su entorno tal como se ejecuta.
2. La mina Casapalca es un yacimiento poli metálico del tipo "cordillerano" con minerales, cuya génesis es a partir de los fluidos hidrotermales que traen los iones metálicos y rellenaron las fracturas con sulfuros y sulfosales Ag, Pb, Zn y Cu, dando lugar a vetas y cuerpos mineralizados.
3. La mina presenta 18 niveles desde el nivel 435 al nivel 18, con una diferencia de altura de 900 metros y se viene explotando hasta el nivel 17 además se divide en 4 zonas principales: Gubbins, Cuerpo Mery, Esperanza y Oroya. Se aplica el método de explotación por sub level stoping.
4. Para la caracterización de la masa rocosa se registraron los datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas. Los parámetros que se tomaron en cuenta son: Tipo de roca, sistema de discontinuidades, orientación, espaciado, rugosidad, tipo de relleno, espesor de relleno, intemperización y presencia de agua.
5. De acuerdo a los valores determinados del RMR entre 68 y 59 de tipo II y III respectivamente, y en base a la tabla N° 5.1 se interpreta que el sostenimiento debe realizarse con pernos de anclaje en el techo y paredes. Asimismo, al obtener el valor del índice  $Q = 35.48$  y la dimensión equivalente de 7.5, en el gráfico 5.3, también se interpreta como una roca buena y por tanto se debe aplicar pernos anclaje. También, de acuerdo a las características de la masa rocosa, en relación al índice GSI, se va requerir un tipo de sostenimiento con pernos de anclaje.

6. El Perno Hydrabolt es un tipo de Sostenimiento Activo, ejerciendo su acción de compresión desde el mismo momento en que se realiza la expansión del perno, formando un Arco ejerciendo una Presión Radial constante.
7. Los pernos Split Set, Hydrabolt y Swellex muestran un anclaje uniforme al variar las longitudes efectivas de anclaje; mientras que el comportamiento de las Barras Helicoidales es irregular, sobre todo cuando se instalan con cemento. Los pernos de mayor y menor capacidad son respectivamente, los Hydrabolts y el Split Sets. Asimismo, el costo por metro cuadrado sostenido del más bajo al más alto son respectivamente: Hydrabolt (10,95 \$/ m<sup>2</sup>) y la barra Helicoidal con resina (50,67 \$/ m<sup>2</sup>).
8. El HYDRABOLT, es un perno de fricción activo y de inmediata instalación al que se le inyecta agua a altas presiones de 25 a 30 Mpa (Presión correcta de inflado). Se expande de 29mm a 41mm y debido a su válvula de no retorno, el agua que se mantiene en el interior ejerce presión constante en todo momento, en forma radial a lo largo de la longitud del taladro.
9. De acuerdo a las Pruebas de bolt test realizadas, se determinó que el Perno Hydrabolt de 5 pies, tiene una Capacidad de Carga de 11.2 Toneladas, mientras que el Perno de 7 pies tiene una Capacidad de Carga de 10.6 y 10.8 Toneladas, para ambos casos el Perno no cede ni se desplaza hacia afuera.
10. La ventaja principal de Pernos Hydrabolt, se centra en su menor tiempo de instalación (inflado en 1 minuto a 2 minutos), A la vez una reducción en los costos de sostenimiento de 10.95\$/m<sup>2</sup> en rocas tipo IV-A.

## RECOMENDACIONES

1. Los trabajos de Geomecánica deben ser preventivos, conocer los parámetros de la masa rocosa, para poder mantener la estabilidad cuando se realicen excavaciones subterráneas.
2. El Hydrabolt es un perno cuyo diámetro original es de 29 mm y se expande hasta 41 mm. Se debe controlar que la perforación no exceda los 38 mm de diámetro para que así el Hydrabolt al inflarse trabaje óptimamente.
3. De acuerdo a los resultados de la prueba, en el mencionado tajeo podría pedirse una requisición de los pernos Hydrabolt para nuestro tajeo semi-mecanizado.
4. Se recomienda implementar la instrumentación de las principales estructuras de mayor importancia para la operación de la mina para monitorear el comportamiento del macizo rocoso en estas estructuras.
5. En vista que el sostenimiento con Split set en la corona de los tajeos los resultados están siendo desfavorables en temas de estabilidad del tajeo. Se recomienda el uso de los pernos hydrabolt en los tajeos que durante las pruebas han superado los 10 Tn. en su capacidad de soporte.
6. Se recomienda realizar un estudio geomecánico para cada tipo de roca y elegir un correcto y óptimo sostenimiento al menor costo posible.

## BIBLIOGRAFIA

1. Andrade, B. (2004). *Caracterización, Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos*. Quito: Académica Española.
2. Arca, Pablo (2012), "Análisis de esfuerzos de los pernos hydrabolt para estandarización geomecánica en la construcción de chimeneas con equipo alimak STH – 5E en Consorcio Minero Horizonte S.A.- 2012". Tesis de Grado.
3. Bieniawski Z. (1989). *Enginnering Rock Mass Clasification*. Nueva York: Wiley Interscience Publications.
4. Brad,.H & Browin. (1985). *Rock Mechanincs*. Montana: George Allen & Unwin Ltd.
5. Hoek, E. (1995): *Ssupport of Underground Excavations in Hard Rock*. Otttawa: Balkema.
6. Guerrero,R.(2017). *Geomecánica para la Selección del Método de Explotación de la Veta Almiranta de la Compañía Minera Quiruvilca S.A*. La Libertad: Tesis de Grado.
7. Gavilanes, H. y Byron, A. (2005). *Introducción a la Ingeniería de Túneles: Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos*. Quito: Cámara Ecuatoriana.
8. Giraldo, Mauro (2013), "Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca". Estudio de Investigación Facultad Ingeniería de Minas UNSM.
9. Maldonado, Luis (2012) "Sostenimiento subterráneo con pernos de anclaje Hydrabolt". Revista Minería 2012 IIMP.
- 10.P, W. (2011). *Mejoras en el 2011en la Unidad Uchucchacua de la*

11. *Compañía de Minas Buenaventura S.A.* Lima: Tesis de Grado.
12. Ramos, Arturo, (2015),: “Sostenimiento en minería subterránea”.  
Exposición realizada en el Capítulo de Ingenieros de Minas 2015 CIP.
13. Rojas.T. (2016). *Geomecánica en el Diseño de Sostenimiento para mejorar la Estabilidad de las Labores Mineras de la Unidad Minera el Porvenir de la Empresa Minera Milpo.* Ciudad de Cerro de Pasco: Tesis de Grado.
14. Sociedad Nacional de Minería Petróleos y energía (2004) *Manual de Geomecánica.*Lima: INGEMMET.

[www.rocscience.com](http://www.rocscience.com)

[techsupport@rocscience.com](mailto:techsupport@rocscience.com)

# **ANEXOS**

## ANEXO 1.1

### LOGUEO GEOTECNICO

Se han realizado el Logueo Geotécnico e interpretación Geomecánica de los sondajes en la zona de Cuerpos.

Se utilizaron el equipo de Carga puntual y el Martillo Schmidt para determinar la resistencia de la roca en Mpa.

### ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON MÉTODO DESTRUCTIVO

#### EQUIPO DE COMPRESIÓN UNIAXIAL

- EQUIPO: Model 45-D0550/E
- SONDAJE :RD: IV-I-13 “Zona Cuerpos” Nv. 11 , Camara 532 NW
- DIAMETRO DEL CORE : 3.6cm

|      |            |            |             | L > 1/2D |      | (1 KN = 101.97 Kgf) (1 Kgf/cm <sup>2</sup> = 0.098067 Mpa) |       |      |        |                      |
|------|------------|------------|-------------|----------|------|--|-------|------|--------|----------------------|
| Nro. | Fecha      | Carga (KN) | Carga (Kgf) | D (mm)   | De   | De2  | Is    | F.C. | Is(50) | σ <sub>c</sub> (MPa) |
| 1    | 07/01/2013 | 9.1        | 927.95      | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 7.02  | 0.85 | 5.96   | 142.99               |
| 2    | 07/01/2013 | 16.4       | 1672.34     | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 12.65 | 0.85 | 10.74  | 257.70               |
| 3    | 07/01/2013 | 22.4       | 2284.17     | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 17.28 | 0.85 | 14.67  | 351.98               |
| 4    | 07/01/2013 | 9.2        | 938.14      | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 7.10  | 0.85 | 6.02   | 144.56               |
| 5    | 07/01/2013 | 8.7        | 887.16      | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 6.71  | 0.85 | 5.70   | 136.71               |
| 6    | 07/01/2013 | 9          | 917.75      | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 6.94  | 0.85 | 5.89   | 141.42               |
| 7    | 07/01/2013 | 13.8       | 1407.21     | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 10.65 | 0.85 | 9.04   | 216.85               |
| 8    | 07/01/2013 | 4.5        | 458.87      | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 3.47  | 0.85 | 2.95   | 70.71                |
| 9    | 07/01/2013 | 15.9       | 1621.35     | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 12.27 | 0.85 | 10.41  | 249.84               |
| 10   | 07/01/2013 | 14.5       | 1478.59     | 36.0     | 36.0 | 1296.0   | 11.19 | 0.85 | 9.49   | 227.85               |

## ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938

Los resultados son los siguientes:

| <i>Muestra</i>             | <i>Diámetro<br/>(cm.)</i> | <i>Altura<br/>(cm.)</i> | <i>Carga<br/>(Kg.)</i> | <i>Resistencia a la<br/>Compresión<br/>Simple<br/>(Kg./cm<sup>2</sup>)</i> | <i>Resistencia a la<br/>Compresión<br/>Simple<br/>(MPa)</i> |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|--|---|
| <i>NV-5A CPO-EMI ORE</i>   | <i>5.71</i>               | <i>11.32</i>            | <i>11300</i>           | <i>440.79</i>  | <i>43.20</i>  |
| <i>NV-5A MERY-S ORE</i>    | <i>5.71</i>               | <i>11.32</i>            | <i>32400</i>           | <i>1263.87</i>   | <i>123.86</i>   |
| <i>NV-5A CPO-ESP ORE</i>   | <i>5.71</i>               | <i>11.31</i>            | <i>16600</i>           | <i>647.47</i>  | <i>63.45</i>  |
| <i>NV-4B CPO-SOF ORE</i>   | <i>5.71</i>               | <i>11.34</i>            | <i>27200</i>           | <i>1061.26</i>   | <i>104.00</i>   |
| <i>NV-4B CPO-EMI ORE</i>   | <i>5.72</i>               | <i>11.39</i>            | <i>18500</i>           | <i>719.53</i>  | <i>70.51</i>  |
| <i>NV-5A MERY-N ORE</i>    | <i>5.71</i>               | <i>11.27</i>            | <i>43600</i>           | <i>1699.81</i>   | <i>116.58</i>   |
| <i>NV-3A CPO-SOF ORE</i>   | <i>5.72</i>               | <i>11.38</i>            | <i>19900</i>           | <i>773.90</i>  | <i>75.84</i>  |
| <i>NV-5A GAL-780 WASTE</i> | <i>5.71</i>               | <i>11.34</i>            | <i>42550</i>           | <i>1660.17</i>   | <i>162.70</i>   |
| <i>NV-5A XC-780 WASTE</i>  | <i>5.72</i>               | <i>11.36</i>            | <i>52150</i>           | <i>2027.63</i>   | <i>198.71</i>   |
| <i>NV-4B GAL-841 WASTE</i> | <i>5.71</i>               | <i>11.35</i>            | <i>54400</i>           | <i>2122.76</i>   | <i>208.03</i>   |
| <i>NV-5A XC-850 WASTE</i>  | <i>5.72</i>               | <i>11.34</i>            | <i>35600</i>           | <i>1383.85</i>   | <i>135.62</i>   |
| <i>NV-3A GAL-894 WASTE</i> | <i>5.71</i>               | <i>11.34</i>            | <i>15600</i>           | <i>608.67</i>  | <i>59.65</i>  |

ENSAYO DE PROPIEDADES FISICAS.

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

Los resultados son los siguientes:

| <i>Muestra</i>                 | <i>Diámetro<br/>(cm.)</i> | <i>Altura<br/>(cm.)</i> | <i>Densidad<br/>Seca<br/>(gr./cm<sup>3</sup>)</i> | <i>Densidad<br/>Húmeda<br/>(gr./cm<sup>3</sup>)</i> | <i>Porosidad<br/>Aparente<br/>(%)</i> | <i>Absorción<br/>(%)</i> | <i>Peso<br/>Específico<br/>Aparente<br/>(KN/m<sup>3</sup>)</i> |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|---|---|---------------------------------------|--------------------------|--|
| <i>NV-4B CPO-EMI<br/>ORE</i>   | 5.72                      | 9.94                    | 2.77  | 2.80  | 2.83                                  | 1.02                     | 27.21  |
| <i>NV-5A CPO-ESP<br/>ORE</i>   | 5.71                      | 12.56                   | 2.82  | 2.82  | 0.65                                  | 0.23                     | 27.64  |
| <i>NV-5A /XC-850<br/>WASTE</i> | 5.71                      | 11.40                   | 2.69  | 2.70  | 1.44                                  | 0.53                     | 26.38  |
| <i>NV-5A /XC-780<br/>WASTE</i> | 5.67                      | 9.79                    | 2.83  | 2.84  | 0.95                                  | 0.34                     | 27.79  |

## ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Se ha ensayado 3 testigos por cada muestra entregada. Los testigos se realizaron según la norma ASTM 2664-95.

Los resultados son lo siguientes:

| <i>Código</i>                     | <i>Muestra</i> | <i>Diámetro<br/>(cm.)</i> | <i>Altura<br/>(cm.)</i> | <i>Carga<br/>(Kg.)</i> | <i>Confin.<br/>(MPa)</i> | <i>mi</i>           | <i>Angulo<br/>De<br/>Fricción<br/>Interno<br/>(°)</i> | <i>Cohesión<br/>(MPa)</i> |
|-----------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|---|---------------------------|
| <b><i>NV-4B CPO-EMI ORE</i></b>   | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>5.98</i>             | <i>8150</i>            | <i>1</i>                 | <b><i>14.80</i></b> | <b><i>47.20</i></b>                                   | <b><i>20.60</i></b>       |
| <i>NV-5A CPO-EMI ORE</i>          | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.17</i>             | <i>9250</i>            | <i>3</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-4B CPO-SOF ORE</i>          | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.09</i>             | <i>10400</i>           | <i>5</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A MERY-N ORE</i>           | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>5.95</i>             | <i>11150</i>           | <i>7</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A MERY-S ORE</i>           | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.17</i>             | <i>12200</i>           | <i>9</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A CPO.ESP ORE</i>          | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.01</i>             | <i>13000</i>           | <i>11</i>                |                     |   |                           |
| <b><i>NV-4B GAL-841 WASTE</i></b> | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.01</i>             | <i>5000</i>            | <i>1</i>                 | <b><i>18.10</i></b> | <b><i>51.30</i></b>                                   | <b><i>28.90</i></b>       |
| <i>NV-3A GAL-894 WASTE</i>        | <i>1</i>       | <i>3.05</i>               | <i>6.03</i>             | <i>8000</i>            | <i>3</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A XC-850 WASTE</i>         | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>6.06</i>             | <i>14300</i>           | <i>5</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A XC-780 WASTE</i>         | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>5.94</i>             | <i>17300</i>           | <i>7</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV-5A GAL-780 WASTE</i>        | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>5.90</i>             | <i>18400</i>           | <i>9</i>                 |                     |   |                           |
| <i>NV 5A XC-780 WASTE</i>         | <i>1</i>       | <i>3.04</i>               | <i>5.90</i>             | <i>15000</i>           | <i>11</i>                |                     |   |                           |

## DATOS TECNICOS DE PERNOS HYDRABOLT

| <b>Tipo</b>                        | <b>Acero</b>              | <b>kp/mm2</b> | <b>SAE 1008</b>          |
|------------------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------|
| <b>Diámetro</b>                    | Plegado                   | m             | <b>2</b>                 |
| <b>Dimensión Original</b>          | Diámetro y grosor         | m             | <b>41*</b>               |
| <b>Diámetro recomendado</b>        | De taladro                | mm            | <b>36 -38</b>            |
| <b>Diámetro óptimo</b>             | De taladro                | m             | <b>34 – 38</b>           |
| <b>Dimensiones del casquillete</b> | De cabeza(cintura/cuello) | mm            | <b>32.5 - 42.5</b>       |
| <b>Diámetro de casquillete</b>     | Superio                   | mm            | <b>32.5</b>              |
| <b>Presión</b>                     | De inflado                | Ba            | <b>250 – 280</b>         |
| <b>Rendimiento</b>                 | Acero (carga)             | Tons          | <b>1</b>                 |
| <b>Longitud &gt; y &lt;</b>        | Orificio placa frontal    | m             | <b>34 * 42</b>           |
| <b>Carga mínima</b>                | De rotura                 | T             | <b>1</b>                 |
| <b>Máxima carga</b>                | Acero                     | Tons          | <b>1</b>                 |
| <b>Máxima deformación</b>          | Axial (elongación)        | %             | <b>2</b>                 |
| <b>Peso perno</b>                  | sin plato y tuerca        | Kg./m         | <b>2</b>                 |
| <b>Longitudes</b>                  | Estándares                | m             | <b>0.9-3.15 cada 0.3</b> |
| <b>Longitudes</b>                  | Disponibles               | m             | <b>0.9-3.15</b>          |
| <b>Aplicación</b>                  |                           |               | <b>Toda dureza,</b>      |

# **PETS SOSTENIMIENTO CON PERNOS HYDRABOLT**

## **1. PERSONAL.**

- 1.1 Maestro perforista y 2 ayudantes.
- 1.2 Supervisor

## **2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.**

- 2.1 Mameluco con cintas reflectivas, protector de cabeza (casco), barbiquejo, botas con punta de acero, respirador contra polvo, guantes de cuero o jebe, correa porta lámpara, tapones de oídos, anteojos de seguridad, ropa de jebe y lámpara a batería.

## **3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES.**

- 3.1 Perforadora con su barra de avance, bomba manual de alta presión para inflado de pernos hydrabolt plataforma de perforación, escalera de tijera o lineal, gatas mecánicas o puntales, bastidores.
- 3.2 Juego de barrenos de 2', 4', 6' y 8' con sus respectivas brocas, 2 juegos de barretillas, combo de 6 libras, empujador de perno hydrabolt, cucharilla, cizalla de 18 pulg, empujador de perno hydrabolt, arco y sierra.
- 3.3 Pernos hydrabolt con su respectiva placa, malla electrosoldada o tejida según sea el caso.

## **4. PROCEDIMIENTO**

- 4.1. Verificar las condiciones del terreno, a ser sostenida debe estar ventilada, desatada, limpia, aplicar la cartilla de los cinco puntos.
- 4.2. Marcar la malla de perforación y ubicación de los pernos, de acuerdo al diseño geomecánico.
- 4.3. Prever todos los materiales, equipos y herramientas a utilizarse para la instalación de los pernos, verificando su estado, calidad y cantidad adecuada, así como los requerimientos de aire y agua que sean necesarios.
- 4.4. Instalar la máquina perforadora,
- 4.5. Instalar la Bomba de alta presión hidroneumática, que viene con la Pistola de seguridad, llaves de control, y boquilla.
- 4.6. Presentar la malla electrosoldada con el apoyo de bastidores
- 4.7. La perforación para perno hydrabolt serán perforados en forma perpendicular y subperpendicular a la superficie a emperrar. Se realizará en forma sistemática y radial, de acuerdo al diseño geomecánico.
- 4.6. Luego introducir el perno en el taladro perforado en forma manual, coloque la boquilla en la válvula, del perno hydrabolt, presione el gatillo en la pistola de seguridad y empiece a bombear el agua al Hydrabolt e inflar el perno hasta que se adiere a las paredes del taladros, luego el perno será empujado con un empujador de perno hydrabolt con la máquina perforadora para pegar la malla electrosoldada.
- 4.7. Coloque nuevamente la boquilla en la válvula, del perno hydrabolt, Presione el gatillo en la pistola de seguridad y empiece a bombear el agua al Hydrabolt hasta que se presente una fuga de agua en la pistola de seguridad.

4.8. Verifique el indicador de carga que haya sobresalido claramente para asegurarse que el perno se haya inflado en su totalidad.

4.8 Recoger el equipo y Bomba hidroneumatica, accesorios de perforación y materiales sobrantes.

## **5. RESTRICCIONES**

5.1 Personal no capacitado en perforación y sostenimiento con pernos con pernos hydrabolt.

## PERNO HYDRABOLT CON MALLA:

1. Para situaciones donde se presenten terrenos muy diaclasados con falla y zonas alteradas, es necesario utilizar malla.
2. Utilizar el adaptador de



empujado de perno Hydrabolt

## PERNO HYDRABOLT CON MALLA

