

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



---

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA  
EN EL ANALISIS DEL MODELAMIENTO DE CUERPOS  
MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8  
COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA**

---

**TESIS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MEZA ALCANTARA, Jimmy Tadeo**

**CERRO DE PASCO – PERÚ**

**2018**

**“UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL  
ALCIDES CARRIÓN”**

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



---

**EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA  
EN EL ANALISIS DEL MODELAMIENTO DE CUERPOS  
MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8  
COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA**

---

**PRESENTADO POR:**

**Bach. MEZA ALCANTARA, Jimmy Tadeo**

**Sustentado y aprobado ante la Commission de Jurados**

---

Ing. Floro Pagel, ZENTENO GOMEZ  
PRESIDENTE

---

Msc. Ing Edgar ALCANTARA TRUJILLO  
MIEMBRO

---

Mg. Joel Enrique, OSCUVILCA TAPIA  
MIEMBRO

Mg. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

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

A mi madre Matilde, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

Mi padre Virgilio, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo.

A mis hermanas Nátaly, Jessy, Jaky, Greysy, Mireya y Yosselin que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia a lo cual amo.

En memoria a mis abuelos Esteban y Vicenta.

## **AGRADECIMIENTO**

Por intermedio del presente trabajo de investigación, me es grato expresar mi sincero agradecimiento al personal del área de operaciones mina de la Compañía Minera Casapalca por su apoyo y confianza.

Mi más sincero agradecimiento a mi alma mater Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, a la plana de Docentes y compañeros de estudio de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, por hacer de mí un digno profesional.

Jimmy Tadeo MEZA ALCANTARA

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio de tesis tiene como objetivo realizar la evaluación geomecánica para llevar a cabo el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca; para la ejecución del estudio se inició con los mapeos geomecánicos, los datos obtenidos fueron procesados en la Oficina de Geomecánica. La investigación es del tipo de tecnológica aplicada y descriptivo, porque se emplean teorías y técnicas en relación a la geomecánica como el RMR de Bieniawski, el uso del software RockCience, etc.; el diseño de investigación es del tipo transaccional no experimental, porque la investigación que se realiza es observar fenómenos y analizarlos en su entorno. Los resultados obtenidos, se presentan en tres sistemas de discontinuidades. La masa rocosa del área de evaluación está entre los Tipos IIIA y II (RMR 55-65). Los cuerpos mineralizados se ubican en una área de 200 m x 200 m en planta y en conjunto comprenden alturas de 100 a 200 m. A fin de determinar el grado de estabilidad, se realizaron modelamientos numéricos de esfuerzo/deformación utilizando el método de elementos finitos mediante el programa PHASE. En el estado actual para inicio del modelamiento, se tiene el factor de seguridad ( $FS=1.06$  a  $1.41$ ). En los pilares del Nv.9 al puente del Nv.8 se tiene un  $F.S.= (0.71$  a  $1.26)$  Las soluciones a las que se ha llegado en los modelamientos

numéricos, involucran el uso del relleno de las cavidades como estrategia para el manejo del control de la estabilidad de las labores mineras.

***Palabras claves: Geomecánica, estabilidad, modelamiento.***

## EXECUTIVE SUMMARY

The present thesis study has an objective to realize the geomechanical evaluation to carry out the analysis of the modeling of mineralized bodies from level 10 to level 8 in the Casapalca Mining Company; for the execution of the study, it began with the geomechanical mappings, the data obtained were processed in the Geomechanic Office. The research is of the technology applied type and descriptive, because the theories and techniques are used in relation to geomechanics such as Bieniawski RMR, the use of RockCience software, etc .; The research design is of the non-experimental transectional type, because the research that is realize is to observe phenomena and analyze them in their environment. The results obtained are presented in three systems of discontinuities. The rock mass of the evaluation area is between types IIIA and II (RMR 55-65). The mineralized bodies are located in an area of 200 m x 200 m. in plant and together they have heights of 100 to 200 m. In order to determine the degree of stability, was performed numerical modeling stress/deformation using the finite element PHASE program. In the current state for modeling start, it has the safety factor (FS = 1.06 to 1.41). In the pillars of Nv.9 to the bridge of Nv.8 there is a FS = (0.71 to 1.26) The solutions that have been reached in the numerical modeling, involve the use of filling the cavities as a strategy for the management control of the stability of the mining labors. **Keywords: Geomechanics, stability.**

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis intitulado “Evaluación geomecánica de la masa rocosa en el analisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca”, es consecuencia de mi trabajo profesional en el área de operaciones mineras y geomecanica, lo que quiero aportar como parte de mis conocimientos a favor de mi Alma Mater la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión”.

Esta investigación se llevó a cabo a través de la descripción, valoración y análisis de las condiciones de la masa rocosa en la Compañía Minera Casapalca; considerando la evaluación geomecánica para su modelamiento el minado a través de los tajeos de producción. El presente trabajo consta de los siguientes capítulos.

Cápítulo I, comprende los lineamientos generales en relación a la investigación, donde se considera: el planteamiento del problema, su formulación, sus objetivos, justificación, importancia y alcances de investigación y limitaciones.

A través del capítulo II, se considera los antecedentes del estudio, bases teórico-científico, marco conceptual, Hipótesis general, identificación de



variables teórico y la operacionalización de variables.

En el desarrollo del capítulo III, se realiza el tipo de investigación, diseño de investigación, población y muestra, métodos de investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas de procesamiento y análisis de datos.

En el estudio del capítulo IV, se considera: la ubicación y accesibilidad, clima, relieve, geomorfología, drenaje, e historia de la mina.

A través del capítulo V, se realiza el estudio de la geología de la mina; considerando la geología regional, estratigrafía, geología local, geología estructural y geología económica, reserva de minerales

En el capítulo VI se considera las operaciones mineras, sistema de minado, labores mineras, método de corte y relleno ascendente, método de explotación sublevel stoping,

Asimismo, el capítulo VII, comprende la evaluación geomecánica con la caracterización de la masas rocosa, los aspectos litológicos, distribución de discontinuidades, la clasificación de la masa rocosa, zonificación geomecánica, resistencia de la roca, condiciones de agua subterránea y esfuerzos insitu

Mediante el desarrollo del capítulo VIII; se analiza el modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8, modelamientos numéricos, estabilidad estructuralmente controlada, dimensiones de componentes estructurales.

Finalmente, el capítulo IX trata de los resultados y discusión, las evaluaciones de las condiciones geomecánicas del cuerpo Esperanza, Esperanza techo, esperanza piso y cuerpo Chiara,, interpretación de cuadros, presentación de resultados, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

## **INDICE**

DEDICATORIA  
AGRADECIMIENTO  
RESUMEN EJECUTIVO  
EXECUTIVE SUMMARY  
INTRODUCCIÓN  
INDICE

### **PARTE I**

#### **ASPECTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

	<b>Pág.</b>
1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	01
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	03
1.2.1 Problema General	03
1.2.2 Problemas Específicos	03
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	03
1.3.1 Objetivo General	03
1.3.2 Objetivos Específicos	04
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	04
1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	05
1.6 LIMITACIONES	05

##### **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	06
2.2 BASES TÓRICO - CIENTIFICO	11
2.3 MARCO CONCEPTUAL	19
2.4 HIPÓTESIS	24
2.4.1 Hipótesis General	24
2.4.2 Hipótesis Específica	24
2.4.3 Identificación de las Variables	25
2.4.3.1 Variable Independiente	25

2.4.3.2 Variable Dependiente	25
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	25

### **CAPITULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	26
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACION	26
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	27
3.4 METODOS DE INVESTIGACIÓN	27
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.6 TECNICA DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	28

### **PARTE II**

#### **ASPECTOS TECNICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

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

4.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	29
4.2 CLIMA	31
4.3 RELIEVE	32
4.4 GEOMORFOLOGIA	32
4.5 DRENAJE	33
4.6 HISTORIA	33

#### **CAPITULO V: GEOLOGÍA GENERAL**

5.1 GEOLOGÍA REGIONAL	34
5.1.1 Estratigrafía Regional	35
5.1.2 Rocas Intrusivas	39
5.1.3 Depósitos Cuaternarios	40
5.2 GEOLOGÍA LOCAL	41
5.2.1 Mineralización	44

5.2.2	Vetas	44
5.2.3	Cuerpos	45
5.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	46
5.4	GEOLOGIA ECONÓMICA	47
5.4.1	Génesis y Pargénesis	47
5.4.2	Mineralización	47
5.4.3	Zoneamiento	48
5.5	RESERVAS MINERALES	49

## **CAPITULO VI: OPERACIONES MINERAS**

6.1	SISTEMA DE MINADO	51
6.2	LABORES MINERAS	51
6.3	METODO DE CORTE Y RELLENO CONVENCIONAL	53
6.3.1	Condiciones de Aplicación	53
6.3.2	Preparación	54
6.3.3	Ciclo de Explotación	54
6.3.3.1	Perforación – voladura	55
6.3.3.2	Limpieza	56
6.3.3.3	Sostenimiento	58
6.3.3.4	Relleno	58
6.4	METODO DE EXPLOTACIÓN SUBLEVEL STOPING	59
6.4.1	Criterios para la Selección del Método SLS	61
6.4.2	Parámetros del método SLS en Casapalca	61
6.4.3	Método de Taladros Largos Paralelo	62
6.4.4	Método de Taladros Largos en Abanico	64
6.4.5	Operaciones Unitarias	65
6.4.5.1	Preparación	65
6.4.5.2	Perforación	67
6.4.6	Cara Libre de los Tajeo de Producción	68
6.4.6.1	Perforación de la chimenea slot (Cara Libre)	68
6.4.6.2	Perforación de la chimenea VCR (vertical crater raise)	70
6.4.7	Limpieza	71

## **CAPÍTULO VII: EVALUACIÓN GEOMECÁNICA**

7.1	CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA	72
-----	-----------------------------------	----

7.2 ASPECTOS LITOLÓGICOS	73
7.3 DISTRIBUCIÓN DE DISCONTINUIDADES	73
7.4 ASPECTOS ESTRUCTURALES	77
7.5 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA	78
7.6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA	79
7.7 RESISTENCIA DE LA ROCA	80
7.7.1 Resistencia de la Roca Intacta	80
7.7.2 Resistencia de las Discontinuidades	84
7.7.3 Resistencia de la Masa Rocosa	85
7.8 CONDICIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA	88
7.9 ESFUERZOS IN-SITU	88

## **CAPÍTULO VIII: MODELAMIENTO DE CUERPOS MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8**

8.1 GENERALIDADES	91
8.2 MODELAMIENTOS NUMÉRICOS	93
8.3 ESTABILIDAD ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA	94
8.4 DIMENSIONES DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL MINADO	95
8.5 PATRÓN ESTRUCTURAL	99

## **CAPÍTULO IX: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

9.1 EVALUACIONES DE LAS CONDICIONES GEOMECÁNICAS DEL CUERPO ESPERANZA, ESPERANZA TECHO, ESPERANZA PISO Y CUERPO CHIARA	100
9.2 INTERPRETACIÓN DE CUADROS	101
9.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	105
9.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS	118
9.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	124

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFIA**

### **ANEXO**

## INDICE DE PLANOS

Plano de Ubicación N° 4.1	30
Plano Geológico Regional N° 5.1	36
Plano Geologico N° 5.2	43
Plano Geomecánico 7.1	81
Plano N° 9.1: Minado actual: febrero 2018	107
Plano N° 9.2: Modelamiento: Minado del Nv. 10 al Nv. 08	
Factor de Seguridad	108
Plano N° 9.3: Secuenciamiento de minado planteado del Nv.9b al Nv.8: con influencia de espacios abiertos	110
Plano N° 9.4: voladura taladros positivos del tj-553	112
Plano N° 9.5: Relleno del Cuerpo Esperanza Tj-500 y Tj 529 del Nv. 9B al Nv.9 <sup>a</sup>	113
Plano N° 9.6: Voladura de taladros positivos largos del TJ-553 del Nv.9B al Nv.9 <sup>a</sup>	115
Plano N° 9.7: Relleno de los TJ-500, Tj-529 del Nv.9B al Nv. 8: R-3	116
Plano N° 9.8: Relleno del Tj-553 del Nv. 9B al Puente del Nv.8	117

## INDICE DE CUADROS Y TABLAS

Tabla N° 2.1: Valoración RMR	13
Cuadro N° 7.1: Criterio para la clasificación de la masa rocosa	79
Cuadro N°7.2: Resistencia compresiva de la roca intacta	82
Cuadro N° 7.3: Valores de la constante “mi” de la roca intacta	83
Cuadro N° 7.4 :Propiedades físicas de la roca intacta	84
Cuadro N° 7.5: Resistencia de las discontinuidades	86
Cuadro N° 7.6: Parámetros de resistencia de la masa rocosa	87
Cuadro N° 9.1: Parámetros de la roca intacta	101
Cuadro 9.2: arenisca silicificada caja techo	102
Cuadro 9.3: arenisca silicificada caja piso	103
Cuadro 9.4: características del relleno detrítico	104
Cuadro 9.5: características de la falla	104
Cuadro No. 9.6: Tipos de roca y valores geomecánicos	120
Cuadro No.9.7: Esfuerzos insitu y parámetros	121



## **INDICE DE ESQUEMAS**

Esquema 6.1: Método de taladros largos en paralelo	64
Esquema 6.2: Método de taladros largos en abanico	65
Esquema N° 6.3: Preparación método de explotación	66
Esquema N° 6.4: Diseño de malla de perforación Slot	69
Esquema N°8.1: Cuerpos mineralizados de veta esperanza en vista 2D	92

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N° 2.1: Flujograma de Investigación	14
Gráfico N° 2.2: Método gráfico	17
Gráfico N° 5: Columna Estratigráfica	35
Gráfico N°6.1: Diseño y preparación para la explotación	60
Gráfico N°6.2: Diseño y preparación para la explotación	61
Gráfico N°7.1: Diagrama estereográfico de contornos del compósito	75
Gráfico N°7.2: Diagrama estereográfico de planos principales del compósito general	76
Gráfico 7.3: Diagrama de roseta de discontinuidades del compósito general	76
Gráfico N°8: Cartilla Geomecanica	Anexo 5
Gráfico N°9: Cartilla Geomecanica	Anexo 5

## **INDICE DE FOTOGRAFIAS**

Fotografía 6.1: Simba H1254	68
Fotografía 5: Vista Panorámico - Compañía Minera Casapalca	Anexo 5
Fotografía 6: Vista Relavera - Compañía Minera Casapalca	Anexo 5

## **PARTE I**

### **ASPECTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

Hoy en día el conocimiento Geomecánica es muy importante en la industria minera, en lo que es la estabilidad de la masa rocosa, se debe por el estudio de la masa rocosa y las aberturas que existen en las minas como consecuencia de las operaciones mineras. Asimismo, es una herramienta muy valiosa que permite entre otras cosas: el modelamiento de las labores subterráneas en relación a la masa rocosa, establecer dimensiones adecuadas de las labores mineras, establecer la dirección general de avance del minado a través del cuerpo mineralizado, de esta manera asegurar el rendimiento adecuado de la masa rocosa involucrada con las excavaciones subterráneas.

La extracción de mena de plomo, zinc con alto contenido de plata en el área de CASAPALCA, se remota a tiempos coloniales. En esa época la explotación estuvo restringida a las zonas de fácil acceso (superficie). En estos últimos años la explotación se ha incrementado, motivo por el cual existe problemas de inestabilidad de las rocas cuando se realiza las excavaciones subterráneas cada vez de mayor tamaño, motivo por el cual es necesario un estudio geomecánico en cuanto se refiere a la evaluación de la masa rocosa, y a partir de ello determinar la aplicación del modelamiento especialmente de los cuerpos entre el nivel 10 y 8 de la mina para poder determinar los factores de seguridad; motivo por el cual se presenta el siguiente estudio de investigación: "EVALUACION GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA EN EL ANALISIS DEL MODELAMIENTO DE CUERPOS MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8 COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA".

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo la evaluación geomecánica del macizo rocoso influye en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.”,2018

### **1.2.2 Problemas Específicos:**

- ¿Cómo evaluar la masa rocosa circundante a los cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.,2018
- ¿Cómo analizar el modelamiento de las labores ubicados entre el nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.?,2018

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la masa rocosa en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados ubicados entre el nivel 10 y nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la masa rocosa circundante a los cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.,2018
- Analizar el modelamiento de las labores ubicados entre el nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.,2018

## **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente trabajo de investigación tiene como base la importancia de un estudio geomecánico en la Mina Casapalca S.A., con el fin de evaluar la masa rocosa para realizar el modelamiento y continuar la explotación de la mina en forma segura y económica; que, de acuerdo a sus características y condiciones, la masa rocosa puede variar de área en área dentro de la misma mina. Con el tiempo se amplían las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, como es el caso de la mina Casapalca, desarrollándose así diferentes problemas de inestabilidad en la roca. La evaluación geomecánica es necesaria para el desarrollo del análisis del modelamiento de las estructuras mineralizadas, empleando técnicas del manejo de softwares, que permite determinar los factores de seguridad y de acuerdo a ello considerar las medidas necesarias en cuanto se refiere

al a los problemas de inestabilidad de la masa rocosa durante el desarrollo de las operaciones mineras. Por esta razón, para que la explotación minera sea segura es necesario la aplicación de la tecnología en relación a la geomecánica.

### **1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia de la investigación geomecánica es de realizar el modelamiento en la mina para que la planificación sea adecuada y de un trabajo seguro en la prevención de riesgos laborales y cumplir los objetivos de disminuir los accidentes y/ o tener cero accidentes en la Compañía Minera Casapalca S.A

### **1.6 LIMITACIONES**

En el presente estudio se considera la evaluación geomecánica que es desarrollada dentro de las operaciones mineras que es un tema relativamente estudiado por los especialistas en geomecánica de la Mina. Las limitaciones que se tiene es la poca información ya sea en la evaluación geomecánica y al modelamiento de la mina; al respecto existe información de trabajos similares desarrollados en el país, pero no tanto relacionado a los modelamientos geomecánicos.



## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

Compañía Minera Casapalca S.A. realiza la evaluación geomecánica de la masa rocosa involucrada con el minado de los Cuerpos, con el fin de definir y dimensionar las alternativas de minado subterráneo adecuadas a este yacimiento y para ello es necesario el modelamiento geomecánico, de tal manera lograr las condiciones seguras en la explotación y la mayor recuperación de las reservas de mineral. Se tienen informaciones diversas relacionados a estudios geomecánicos en diferentes minas del país, entre ellos tenemos:

Mercado Salas Gerald E. (2017), en su estudio de tesis: “Modelamiento geomecánico a nivel de prefactibilidad de una mina subterránea”. Concluye que; El sistema de clasificación para la calidad

del macizo rocoso fue el RMR, debido a que las gráficas de diseño empírico están basadas en datos realizados en este sistema, con esta información geotécnica y complementada con la información geológica, fue posible realizar un modelo geotécnico y posteriormente una zonificación geomecánica del Macizo Rocosó. Es importante recalcar que se usaron herramientas de diseño empíricas como herramientas de software (Dips, Unwedge, Phase2, pertenecientes a Rocscience). Se ha desarrollado el diseño de los tajeos mediante métodos empíricos utilizando el Método gráfico de estabilidad, con estos se dimensionó los tajeos y las labores de desarrollo y preparación, además de diseñar el sostenimiento necesario para estas últimas, realizando verificaciones de los factores de resistencia de esfuerzos mediante el software Phase2, teniendo en cuenta la secuencia de minado.

Pantaleón Junco, Hernán y Carbajal Isidro, Christian (2017), en su estudio de tesis: "Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea"; determina que, para llevar a cabo dicha evaluación, ha sido necesario ejecutar una serie de investigaciones geotécnicas correspondiente al reconocimiento geológico y estructural, mapeo geomecánico, logueo geomecánico y ensayos de laboratorio, que permitieron caracterizar el macizo rocoso y establecer un modelo geomecánico; asimismo, se

evaluaron y determinaron las condiciones de esfuerzos in-situ. Se realizó el dimensionamiento óptimo de tajeos y el diseño de sostenimiento con cable bolting. Para ello, se recurrió a los métodos empíricos, tales como la gráfica de estabilidad modificada, que analiza la estabilidad del tajeo por medio del equivalente lineal de sobre rotura de las paredes laterales de paredes (ELOS). Asimismo, se realizó el diseño de cable bolting mediante el análisis cinemático y método de la cuña máxima para el techo o corona de los tajeos, y el análisis empírico para la caja techo de los tajeos.

Cuadros Aquino, Gabriel (2015), en su trabajo de investigación: “Evaluación geomecánica para el cambio de método de open stoping a corte y relleno ascendente convencional en la Veta Atahualpa-Lola de la Mina Poderosa”; determina las siguientes consideraciones: El trabajo de tesis, se ha desarrollado con la finalidad de cambiar el método del Open Stopping con el método de corte y relleno convencional en la Veta Atahualpa- Lola, unidades de la Cía. Minera Poderosa S.A. La aplicación de un determinado método de explotación subterránea de un yacimiento está condicionada a las características geomecánicas del macizo rocoso en la que se emplaza, al rendimiento del método expresado en toneladas de mineral, recuperación selectividad, bajos costos y seguridad.

Meza Canchihuaman, John (2016), en su tesis: “Evaluación geomecánica con aplicación del software rock support en la disminución de longitud de pernos helicoidales Compañía Minera Aurífera Retamas S.A”. Concluye que, el sostenimiento instalado actualmente, genera un espacio libre de 30 cm dentro del taladro, generando de esta manera una zona de debilidad tras el contorno de la excavación. El análisis de deformación garantiza que la Barra Helicoidal (Posimix) de 1.5 m cubre las zonas plásticas ocasionadas por la ejecución de la excavación, para ello consideramos que el yacimiento está emplazado en Roca Mala Tipo IV-A y Regular Tipo III-A. El ahorro aproximado por cambio de longitud de la Barra es US\$. 1.07 por unidad de elemento, generando un ahorro mensual promedio de US\$ 7,500 por concepto de Barras Helicoidales.

Alviña Torrealba Nicolás (2008), en su trabajo de tesis: “Análisis numérico del comportamiento dinámico de túneles ante eventos sísmicos, caso de estallidos de roca en el teniente”. Los resultados obtenidos indican que la máxima velocidad de partícula en las paredes de un túnel típico del Nivel de Producción, puede alcanzar unas 20 veces el valor que tendría en el mismo sitio si no se excava el túnel (valor de “campo libre”). Dicho efecto corresponde a la superposición de diversos factores que fueron estudiados por separado y que no necesariamente actúan simultáneamente. Conociendo la importancia relativa de cada

factor se pueden planificar medidas para mitigar su efecto o para diseñar el sistema de soporte de acuerdo con la solicitud prevista.

Orihuela Castillo Stefanie M. y Dapello Vizcarra José R., en su trabajo de tesis “Diseño de un Modelo Predictivo a partir de un estudio de vibraciones en una voladura en una Mina modelo”, concluye que el estudio se concentra en el análisis y monitoreo de las vibraciones, resultado de ciertas pruebas de voladura en la mina modelo; dicha data será correctamente clasificada y ordenada. De esta manera, mediante un ajuste cuadrático se podrán hallar las incógnitas de una ecuación base (“k” y “b”) usadas para la predicción de las velocidades pico partícula (VPP), las cuales dependerán de un terreno y circunstancias específicas.

Hoek, E. Brown C. (2002), “El criterio de rotura de Hoek - Brown”, University of Minnesota, Estados Unidos; en el presente artículo el autor desarrolla la teoría de Hoek y Brown explicando el cálculo de los esfuerzos efectivos  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  al momento de rotura, y cálculo de los parámetros de  $m_b$  ( el valor de la constante m de Hoek-Brown para el macizo rocoso),  $s$  y  $a$  (son constantes que dependen de las características del macizo rocoso) través del uso del índice GSI, una vez determinado estos parámetros se obtiene la resistencia de la compresión uniaxial. El criterio de rotura de macizos rocosos de Hoek - Brown es

ampliamente aceptado y ha sido aplicado en un gran número de proyectos a nivel mundial.

Vivar Montañez Aquiles (2012). Jefe Corporativo Dpto. Geomecánica. Cia. Minera Milpo S.A. “Aplicaciones de la Geomecánica en el Porvenir”. Cualquier excavación practicada en un medio rocoso, produce un desequilibrio en el mismo; al extraer los volúmenes de roca, se produce inevitablemente la eliminación del soporte natural de la masa rocosa circundante, dando lugar a la alteración de las condiciones de equilibrio y produce una redistribución de los esfuerzos que actúan sobre el macizo rocoso, generando la inestabilidad.

## **2.2 BASES TEÓRICO - CIENTÍFICO**

Clasificación Geomecánica de Bieniawski (1989)

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.

**Valoración del Macizo Rocosó Según RMR por Bieniawski. - Ver tabla N° 2.1.**

**Modelamiento para el diseño de excavaciones rocosas:**

**Modelo Geológico:** Características geomecánicas de las discontinuidades, intemperización y alteración, Hidrogeología, sismología, litología

**Modelo Geomecánico:** Resistencia del macizo rocoso, esfuerzos in-situ, calidad de la excavación, calidad del macizo rocoso, resistencia de las discontinuidades, resistencia de la roca intacta.

**Modelo Matemático:** Modelos continuos, modelos discontinuos, equilibrio límite.

Tabla N° 2.1: Valoración RMR

A. PARAMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORACIONES								
Parámetro		Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	> 10 Mpa	4 - 10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	Para este rango bajo, es preferible el ensayo de compresión uniaxial	
		Resistencia compresiva uniaxial	> 250 Mpa	100 - 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa		5 - 25 MPa   1 - 5 MPa   < 1 MPa
		Valoración	15	12	7	4	2   1   0	
2	Calidad de testigo de perforación RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
		Valoración	20	17	13	8	3	
3	Espaciamiento de discontinuidades		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	60 - 200 mm	< 60 mm	
		Valoración	20	15	10	8	5	
4	Condición de las discontinuidades		Superficies muy rugosas no continuas Cerradas, sin apertura Paredes rocosas sanas	Superficies ligeram. rugosas Apertura < 1 mm Paredes ligeramente intemperizadas	Superficies ligeram. rugosas Apertura < 1 mm Paredes altamente intemperizadas	Espejo de falla o panizo < 5 mm de espesor Aperturas de 1 - 5 mm Juntas continuas	Panizo suave > 5 mm de espesor o apertura > 5 mm Juntas continuas	
		Valoración	30	25	20	10	0	
5	Agua subterránea		Flujo por 10 m de longitud de túnel (litro)	Ninguno	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
			Presión de agua / principal máximo	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Condición general	Completamente seco	Húmedo	Mojado	Goteo	Flujo	
		Valoración	15	10	7	4	0	

B. AJUSTE DE LA VALORACIÓN POR ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (Ver F)					
Parámetro	Muy favorable	Favorable	Regular	Desfavorable	Muy desfavorable
Valoraciones Túneles y minas	0	- 2	- 5	- 10	- 12
Valoraciones Cimentaciones	0	- 2	- 7	- 15	- 25
Valoraciones Taludes	0	- 2	- 25	- 50	

C. CLASE DE MASA ROCOSA DETERMINADAS POR LAS VALORACIONES TOTALES					
Valoración	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Número de clase	I	II	III	IV	V
Descripción	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala

D. SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE ROCAS					
Número de clase	I	II	III	IV	V
Tiempo de auto sostenimiento	20 años span 15 m	1 año span 10 m	1 semana span 5 m	10 hrs span 2.5 m	30 minutos span 1 m
Cohesión de la masa rocosa KPa	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Ángulo de fricción de masa rocosa	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

E. PAUTAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES					
Longitud de discontinuidades (persistencia)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Valoración	6	4	2	1	0
Separación (apertura)	Cerrada	< 0.1 mm	0.1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Valoración	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeram. rugosa	Lisa	Espejo de falla
Valoración	6	5	3	1	0
Relleno (panizo)	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5mm	Relleno suave < 5 mm	Relleno suave > 5 mm
Valoración	6	4	2	1	0
Intemperización	Sana	Ligera	Moderada	Muy intemperiz.	Descompuesta
Valoración	6	5	3	1	0

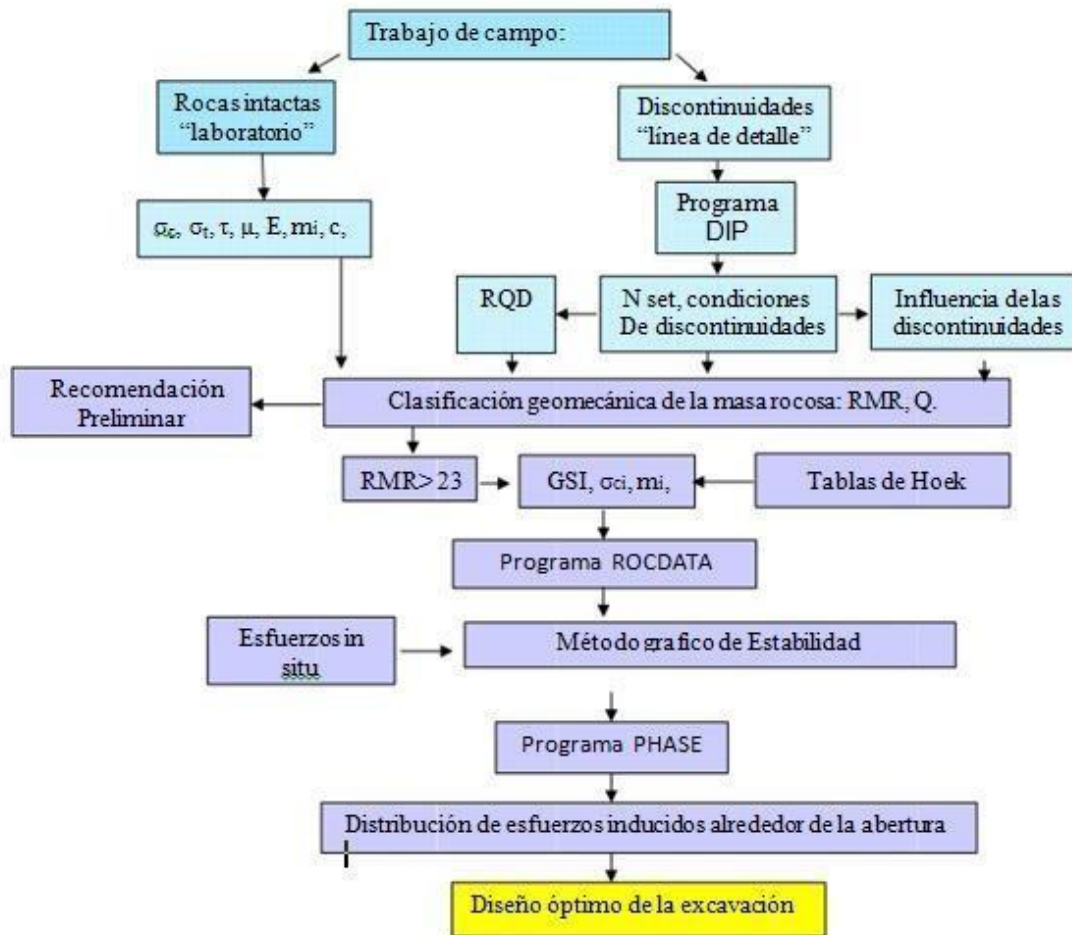
F. EFECTO DE LA ORIENTACION Y BUZAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES EN TUNELERIA			
Rumbo perpendicular al eje del túnel		Rumbo paralelo al eje del túnel	
Avance con el buzam. Buzam. 45 - 90°	Avance con el buzam. Buzam. 20 - 45°	Buzamiento 45 - 90°	Buzamiento 20 - 45°
Muy favorable	Favorable	Muy desfavorable	Moderado
Avance contra el buzam. Buzam. 45 - 90°	Avance contra el buzam. Buzam. 20 - 45°	Buzamiento 0 - 20°, independiente del rumbo	
Moderado	Desfavorable	Moderado	

Fuente: Libro Bieniawski Z.T. "Engineering Rock Mass Classification"

<sup>2</sup> Tabla de valoración del RMR de Bieniawski, para determinar la calidad de la masa rocosa.



**Gráfico N° 2.1: Flujograma de Investigación**



**Fuente:** Córdova David R. Análisis de Esfuerzos y Deformaciones.

### Método gráfico de estabilidad

Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), siguiendo los trabajos iniciados por Mathews et. al. (1981), desarrollaron el Método Gráfico de Estabilidad para el dimensionamiento de tajeos y diseño de

sostenimiento. La versión actual del método, basado en el análisis de más de 350 casos históricos recolectados de minas subterráneas canadienses, toma en cuenta los principales factores de influencia del diseño de tajeos abiertos. Información sobre la resistencia y estructura de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación, y el tamaño, forma y orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo será estable sin sostenimiento, o inestable aún con sostenimiento.

El procedimiento de diseño está basado en el cálculo de dos factores,  $N'$ , que es el número de estabilidad modificada, que representa la habilidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado, y  $S$ , que es el factor de forma o Radio Hidráulico, que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo.

***Numero de Estabilidad (N). -***

$$N = Q' \times A \times B \times C$$

Donde:

Q': Índice de calidad "Q" modificado.

A: Factor de esfuerzo en la roca

B: Factor de ajuste por orientación de discontinuidades.

C: Factor de ajuste gravitacional.

## 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 diaclasa que indica el grado de fracturación del macizo rocoso.

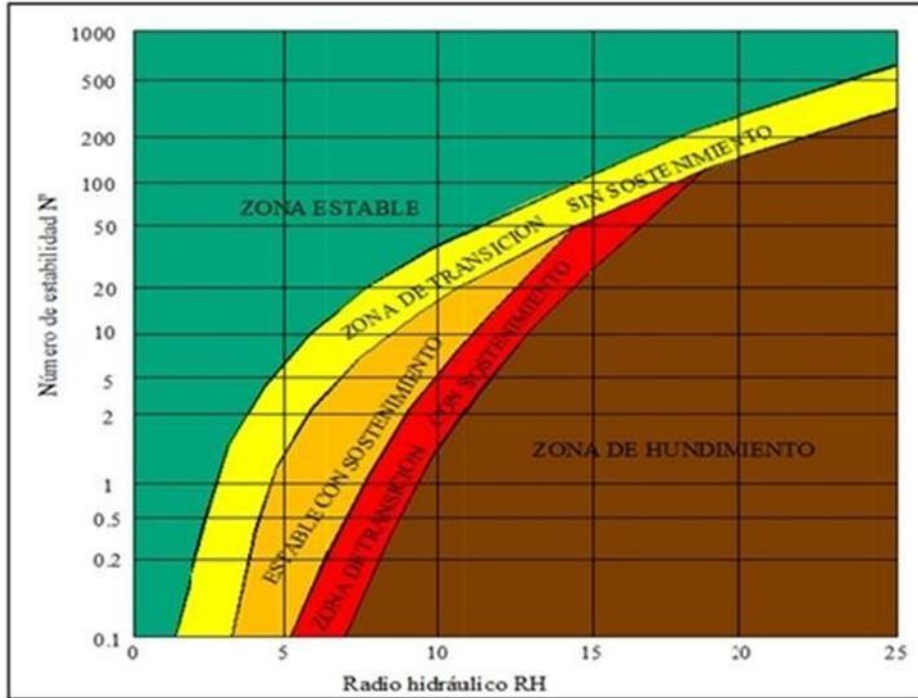
$J_r$  = índice de rugosidad de las discontinuidades o juntas.

$J_a$  = 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 del estado.

**Gráfico N° 2.2: Método Gráfico** <sup>3</sup>



**Fuente:** Libro de Hoek and Brown

### Software Geomecánico

El conocimiento de la respuesta del macizo rocoso a través de sus propiedades física mecánica a la acción de minado es muy compleja y puede ser determinada con modelos numéricos (Phase2) que nos ayude a la toma de decisiones en la operación.

### Descripción del software

<sup>3</sup> Stewart y Forsyth adaptaron el Método gráfico de Estabilidad de Mathews en 1995 y propusieron cuatro zonas (potencialmente estable, potencialmente inestable, potencial a fallar y potencial a hundir).

El Phase2 es un poderoso programa 2D para análisis de elementos finitos y análisis de estrés para excavaciones subterráneas o de superficie en roca o suelo. El software puede ser utilizado para una amplia gama de proyectos de ingeniería y diseño, e incluye soporte a la estabilidad de taludes, infiltración de aguas subterráneas y análisis probabilístico. Una de las características principales del Phase2 es el análisis de elementos finitos y de estabilidad de taludes usando el método de reducción de fuerza de corte.

#### **DIPS (Rocscience inc.)**

Dips está diseñada para el análisis interactivo de los datos geológicos basados en la orientación de discontinuidades. Este programa permite al usuario analizar y visualizar datos estructurales siguiendo las mismas técnicas que las empleadas en los estereogramas. Asimismo, cuenta con características computacionales, tales como contorneo estadístico de familias de discontinuidades, orientación principal y grado de confiabilidad, variabilidad de sistemas y características cualitativas y cuantitativas de los atributos del análisis.

#### **EXAMINE3D (Rocscience inc.)**

Examine3D es un programa de análisis de ingeniería para excavaciones subterráneas en roca. Aun cuando el programa fue desarrollado

principalmente para el análisis del esfuerzo, sus herramientas de visualización de datos pueden aplicarse a un amplio rango de información tridimensional en trabajos de ingeniería minera y civil.

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Caracterización geotécnica.** - Es el reconocimiento geológico de los atributos más relevantes en función de las características de la obra, con el objeto de definir los parámetros que deben ser utilizados en el análisis tenso-deformaciones de las secciones del túnel; que comprende: estratigrafía, estructura del macizo rocoso, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, espesor y características de alteración y recubrimiento, posición y movilidad del agua.

### **Propiedades de las discontinuidades**

Todas las discontinuidades presentan propiedades geomecánicas importantes que las caracterizan y que influyen en el comportamiento de la masa rocosa. Estas propiedades son principalmente:

### **Orientación**

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se

presentan con similar orientación son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades.

### **Espaciado**

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.

### **Persistencia**

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.

### **Rugosidad**

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanta menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.

### **Apertura**

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de

la masa rocosa serán mejores ya mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.

### **Relleno**

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.

### **Caracterización del macizo rocoso**

Para caracterizar un macizo rocoso donde se pretende insertar una excavación, se requiere conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades, así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades.

### **Modelos constitutivos para rocas**

Son expresiones matemáticas que expresan la relación esfuerzo – deformación de un determinado material (macizo rocoso). Estas expresiones matemáticas ayudan a determinar el comportamiento mecánico, por lo tanto, se necesita realizar modelos que representen,



tanto el comportamiento mecánico del material, así como también las condiciones de carga a que son sometidos.

### **Mapeo geomecánico**

El mapeo geomecánico consiste en la recolección de la data del macizo rocoso en el campo, la descripción gráfica de las condiciones in situ del macizo rocoso considerando las diaclasas, condiciones del ambiente y clasificando el tipo de macizo rocoso, haciendo uso de las herramientas geomecánicas: picota de geólogo, martillo Schmidt, brújula y juego de colores.

### **Características geomecánicas**

Las características geomecánicas principales involucradas con las aplicaciones geomecánicas al minado subterráneo son, por ejemplo:

- La orientación de las discontinuidades de la masa rocosa, expresada en rumbo y buzamiento o en dirección de buzamiento y buzamiento.
- Las características estructurales de las discontinuidades, como el RQD (Designación de la Calidad de la Roca), el

espaciamiento, la persistencia, la apertura, la rugosidad, el relleno, la alteración o intemperización y el agua subterránea.

- Las propiedades de resistencia de la roca intacta como la resistencia compresiva uniaxial, la resistencia a la tracción, los módulos de elasticidad, etc., los parámetros de la resistencia al corte de las discontinuidades (cohesión y ángulo de fricción).
- La calidad de la masa rocosa, expresada en valores RMR o Q o GSI, determinados a partir de los otros parámetros aquí descritos.
- Los esfuerzos in-Situ medidos en la roca que rodea una excavación.

**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.

**Productividad.** - Es la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados.

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

## **2.4 HIPÓTESIS**

### **2.4.1 Hipótesis General**

La evaluación geomecánica de la masa rocosa influye en el modelamiento de cuerpos mineralizados entre el nivel 10 y nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.

### **2.4.2 Hipótesis Específica**

- ✓ A través de la evaluación geomecánica, se caracteriza la masa rocosa en relación a los cuerpos mineralizados entre el nivel 10 y nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.
  
- ✓ Mediante el análisis del modelamiento de los cuerpos mineralizados, se determinan los factores de seguridad en relación a la estabilidad.

### 2.4.3 Identificación de las Variables

Se consideran las siguientes variables:

#### 2.4.1.1 Variable Independiente

Evaluación geomecánica de la masa rocosa en la  
Compañía Minera Casapalca S.A.

#### 2.4.1.2 Variable Dependiente

Análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del  
nivel 10 al nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.

### 2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

Variables	Indicadores
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> Evaluación geomecánica de la masa rocosa.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Índices geomecánicos.</li><li>- Caracterización de la masa rocosa.</li><li>- Discontinuidades de la masa rocosa.</li><li>- Propiedades de las discontinuidades.</li></ul>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE. -</b> Análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Modelamiento geomecánico.</li><li>- Modelamiento geológico.</li><li>- Modelamiento numérico.</li></ul>

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DEL ESTUDIO**

#### **3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Por la forma como se planteó el objetivo, es considerada una Investigación tipo Tecnológica Aplicada. Conforma a los propósitos y naturaleza del estudio, la investigación está ubicada en el nivel descriptivo.

#### **3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de la Investigación que le corresponde al estudio de investigación es del tipo transaccional no experimental, porque la investigación que se realiza es observar fenómenos y analizarlos en su entorno tal como se lleva a cabo; asimismo, no hay forma de influir sobre el yacimiento sino adaptarnos a su naturaleza.

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Nuestra unidad de análisis es: la estructura mineralizada que se encuentra emplazado en la masa rocosa.

**Población.** - Se considera al conjunto de todo el macizo rocoso.

**Muestra.-** De acuerdo a las características del presente estudio, se considera un muestreo No Probabilístico, es decir que no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación; aquí el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad; con estas consideraciones, en relación a nuestro estudio la muestra está formado por los cuerpos mineralizados emplazados en la masa rocosa, que se encuentran entre los niveles 8 y 10 de la mina Casapalca: Cuerpo Esperanza y cuerpo Chiara respectivamente.

### **3.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

El método de investigación que se realiza en el presente trabajo, es mediante la aplicación descriptiva en relación a la Mina Casapalca; así como el análisis respectivo de la calidad en masa rocosa.

### **3.5 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.

### **3.6 TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS**

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.

## **PARTE II**

### **ASPECTOS TECNICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

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

##### **4.1. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD**

Las operaciones de la compañía Minera Casapalca S.A. se ubica en el distrito de Chicla, provincia de Huarochiri, departamento de Lima. Geográficamente se localiza en la zona central, flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes a una altura promedio de 4400 m.s.n.m, (ver plano de ubicación 4.1), entre las coordenadas geográficas:

- ✓ Latitud Sur: 11° 30
- ✓ Latitud Oeste: 76° 10

Encontrándose el campamento Casapalca a los 4350 m.s.n.m. en las coordenadas UTM: 366761.70E, 8710455.60N





**COMPAÑÍA MINERA  
CASAPALCA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION**  
**FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS**  
**COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA**  
**PLANO DE UBICACION**

DiBUJO:	Jimmy Meza A.	Plano No.
Fecha:	Junio 2018	Escala: S/E
		4.1

✓ 366761.70E

✓ 8710455.60N

El acceso se realiza por la Carretera Central hasta el Km. 120 donde se encuentra la Empresa Minera Yauliyacu S.A., luego se continua por una carretera afirmada de 5 Km. subiendo hacia el S.E. hasta llegar al Campamento minero Potosí, donde también se encuentra el Túnel Gubbins, acceso principal a la Mina Casapalca, este recorrido se realiza en un tiempo de tres horas, a continuación, se tiene las distancias parciales y totales:

✓ Lima-Casapalca: 170 Km. Tiempo de recorrido en 3:00 horas

✓ Casapalca-Mina: 8 Km. Tiempo de recorrido en 0:20 horas

El recorrido total desde la ciudad de Lima hasta la mina es de 178 km y que se realiza en un tiempo de 3:20 horas.

## **4.2 CLIMA**

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° y la temporada seca el resto del año caracterizada por un clima seco casi todo el año, con

lluvias aisladas, con cambio de temperatura muy fuertes de 10° C a bajo cero, el cual se presenta temperaturas más bajas en los meses de junio-agosto.

### **4.3 RELIEVE**

La mina Casapalca se emplaza dentro de un valle con influencia glacial, con presencia de pendientes abruptas en la zonas bajas (campamentos y bocamina principal) entre los 4100 y 4500 m.s.n.m., y presenta una pendiente moderada a llana en la zonas entre los 4500 y 4600 m.s.n.m. el cual corresponde a un circo glacial y presencia de una laguna glacial, en las zonas altas correspondientes a los 4600 y 5100 m.s.n.m. corresponden a una pendiente abrupta y accidentada.

### **4.4 GEOMORFOLOGÍA**

La mina Casapalca se encuentra ubicada en el cinturón volcánico de la Cordillera Occidental Andina un relieve relativamente empinado, cuyas pendientes evidencian profunda erosión. Así mismo se observa una geomorfología del tipo glacial, evidenciándose en las zonas altas presencia de nieve perpetua.

#### **4.5 DRENAJE**

En la zona de la quebrada Carmen constituye el principal cauce de agua, drenando en forma dendrítica. Desembocando al colector principal Río Rímac, que surca con dirección E-W, hacia el Océano Pacífico.

#### **4.6 HISTORIA**

Un largo camino de esfuerzo y trabajo con proyección hacia el mañana. En sus orígenes, Minera Casapalca formó parte de la Empresa Backus & Johnston. Fue constituida en 1889. Posteriormente, en 1919, fue adquirida por la compañía Cerro de Pasco Corporation, entonces de capitales norteamericanos. Luego, a raíz de la nacionalización de esta empresa, pasa a formar parte de la empresa Minera del Centro del Perú - CENTROMIN PERU.

El 13 de octubre de 1986 se concreta la constitución legal de la Compañía Minera Casapalca S.A. iniciando sus actividades el primero de enero de 1987. En 1997 se logra obtener las principales concesiones de Centromin Perú, además de los yacimientos de pequeños mineros circundantes, lo cual marca el primer paso para un desarrollo sostenido.

## **CAPITULO V**

### **GEOLOGIA GENERAL**

Según la columna estratigráfica de la región está conformada principalmente por areniscas, lutitas calcáreas, calizas brechas, y rocas volcánicas de textura afanítica y Porfíritica, tufos y lavas, los cuales alcanzan una potencia aproximada de 5,400 metros.<sup>4</sup>

#### **5.1 GEOLOGIA REGIONAL**

En la región del distrito Minero de Casapalca se encuentran presentes rocas sedimentarias y volcánicas desde el Cretáceo Inferior hasta el Terciario agrupadas en diferentes unidades litológicas. Ver plano geológico N° 5.1.

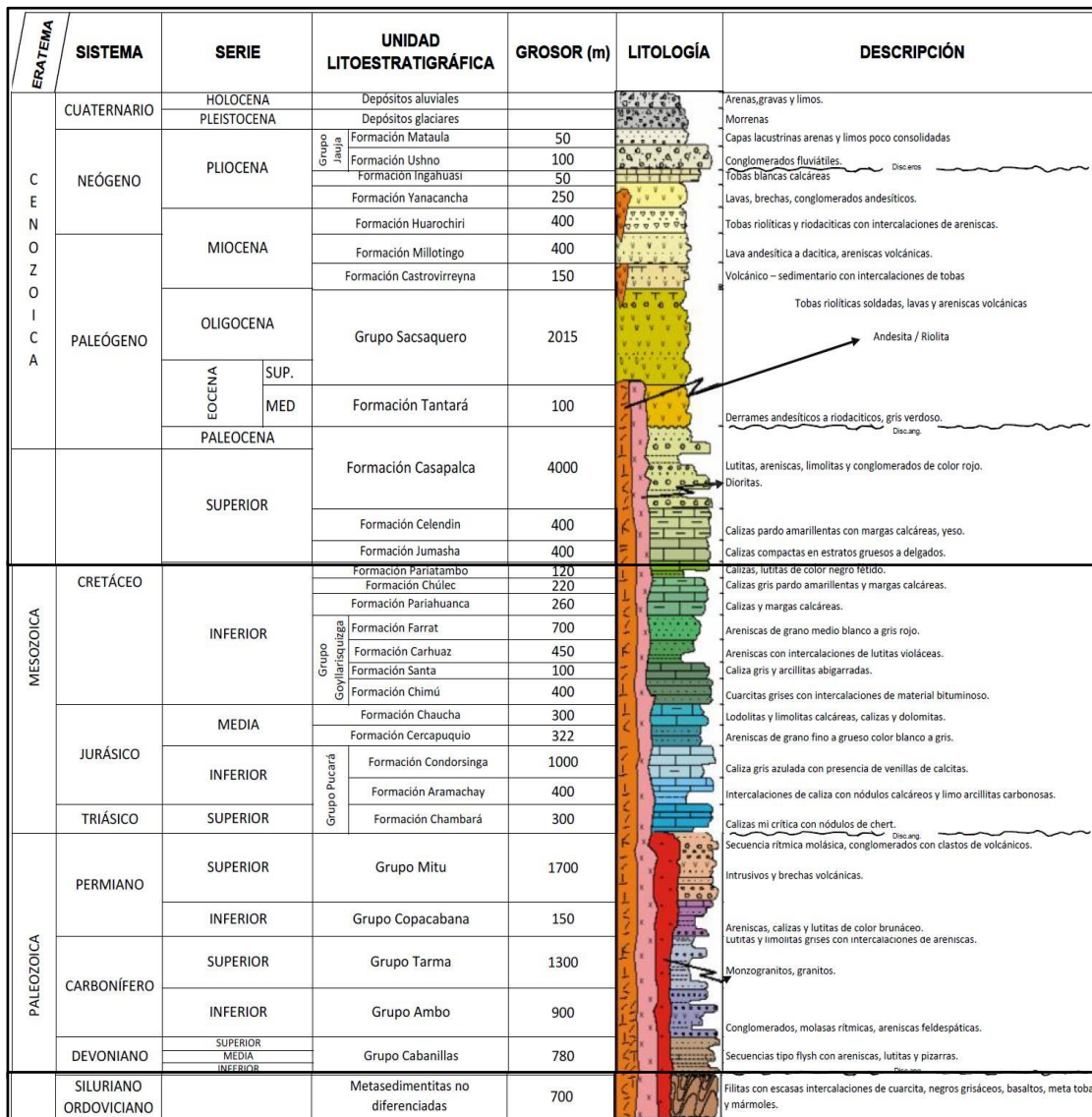
---

<sup>4</sup> Las informaciones referidas a la geología general, fueron obtenidas del Departamento de Geología de la mina..

### 5.1.1 Estratigrafía Regional

Las rocas emplazadas en la zona están conformadas por calizas, areniscas y lutitas, también completan la columna estratigráfica brechas y flujos volcánicos.

**Gráfico N° 5 : Columna Estratigráfica**



Fuente: Área de Geología - Compañía Minera Casapalca.



**a) Formación Jumasha:**

Las rocas de esta formación no afloran en superficie dentro del área de Casapalca; sin embargo, una secuencia correlacionable con esta formación conformada por calizas de color gris con algunas intercalaciones de lutitas.

La secuencia representativa de calizas Jumasha afloran prominentemente a lo largo de las montañas que conforman la divisoria continental, presentando un característico color gris claro en contraste con los colores oscuros que presentan las calizas de la formación Paria tambo, perteneciente, pertenecientes al grupo Machay (J. J. Wilson).

**b) Formación Casapalca:**

Constituye la formación más antigua que aflora en el área, formando un amplio anticlinal denominado Casapalca que es cortado por el río Rímac; comprende una serie de rocas sedimentarias de ambiente continental.

Esta Formación ha sido dividida en los siguientes miembros:

Capas Rojas: La conforman Inter estratificaciones de areniscas y lutitas calcáreas.



Conglomerado Carmen: Sobreyace a las capas rojas, una serie de conglomerados y calizas, se intercalan con estratos de areniscas y lutitas calcáreas.

**c) Formación Carlos Francisco:**

Esta formación ha sido dividida en tres miembros.

Volcánicos Tablachaca: Se encuentra sobre yaciendo al miembro Carmen y separado de este por lutitas de potencia variable, se encuentra una sucesión de rocas volcánicas constituidas por tufos, brechas, conglomerados, aglomerados y rocas Porfíritica efusivas.

Volcánicos Carlos Francisco: Sobre el Mismo Tablachaca que consiste de flujos andesíticos, de color gris oscuro a verde y brechas volcánicas.

Tufos Yauliyacu: Los tufos sobre yacen a los volcánicos Carlos Francisco concordantemente, está constituido de tufos de grano fino.

**d) Formación Bellavista:**

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

**e) Formación Río Blanco:**

Sobre yace a la formación Bellavista que consiste de volcánicos bien estratificadas constituidos por tufos de lapilli de color rojizo, con intercalaciones de brecha y riolitas. En el área afloran hacia el SE pero su mayor exposición se encuentra entre Chicla y Río Blanco a 12 Km. al SW de Casapalca.

**5.1.2 Rocas Intrusivas**

Comprende cuerpos pequeños, de carácter hipabisales y sills de diorita, tonalita y andesita muy jóvenes, semejantes entre sí que instruyen 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”, afloran en el NE del campamento.

### **5.1.3 Depósitos Cuaternarios**

#### **a) Depósitos Glaciares.**

Comprende a los depósitos morrenico 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 Deslizamiento.**

Corresponden a pequeños fenómenos de geodinámicos reconocidas y producidas en las laderas de los valles y quebradas.

## 5.2 GEOLOGIA LOCAL

Las rocas que contienen las dos formas de mineralización están formadas 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. Los rodados de estos conglomerados son muy redondeados, de un tamaño bastante uniforme compuesto principalmente por cuarcitas de grano fino de la formación Goyllarizquisga, y en menor proporción por calizas de la formación Jumasha, areniscas arcillosas pertenecientes a las capas Rojas y aún en menor proporción por chert que se supone sean inclusiones de las calizas Jumasha; es en este Miembro donde se encuentra emplazada los cuerpos mineralizados.

Es importante indicar que las vetas en las Capas rojas forman pequeños lazos sigmoide y fracturamiento con relleno de mineral y en el

conglomerado Carmen forman cuerpos de mineral relleno de la matriz de los conglomerados.

Ligeramente concordantes se presentan las rocas de la formación Carlos Francisco, compuestas al piso por el "Conglomerado Tablachaca" con clastos redondeados de cuarcita, volcánicos andesíticos y menor cantidad de clastos calcáreos; y al techo de la secuencia, 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 porfíricas 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.

A continuación, se presenta el modelo de la columna regional de la zona:



### **5.2.1 Mineralización**

En el distrito minero de Casapalca se presentan varias clases de mineralizaciones siendo las principales las “vetiforme” con relleno de fracturas, las vetas son de carácter mesotermal que indica su gran profundidad de mineralización y las de re-emplazamiento.

También existen mantos no reconocidos y brechas hidrotermales, todos ellos con diferentes características y grados de mineralización.

La mineralización de las vetas constituye esfalerita, galena, calcopirita, tetrahedrita, y en menor porcentaje proustita, pirargirita, polibasita y electrum.

Las gangas son pirita, cuarzo, y carbonatos.

### **5.2.2 Vetos**

Este tipo de mineralización corta toda la secuencia litológica desde las Capas Rojas Casapalca, los conglomerados Carmen y Tablachaca, los volcánicos Carlos Francisco y las calizas Bellavista.

Son cuerpos tabulares con anchos de 0.20 m. a 2.50 m., con ensanchamientos locales; cuando cruzan los conglomerados forman cuerpos de relleno de intersticios de la brecha formando

“cuerpos” mineralizados de mayor ancho. Dentro del distrito minero de Casapalca ocurren cuatro estructuras mayores (principales) acompañadas de otras estructuras menores, siendo estas: principalmente carbonatos manganíferos (calcita y rodocrosita). En algunas labores se observa mineralización en textura bandeada.

### **5.2.3 Cuerpos**

La zona de Cuerpos es parte de las estructuras mineralizadas del Distrito Minero de Casapalca, se encuentra ubicado al NE del campamento El Carmen de Cía. Minera Casapalca.

Se tiene dos tipos de mineralización:

- a) Relleno de fracturas, las venillas se encuentran con rumbo de las vetas “Madres”, su mineralización es de galena, tetraedrita y carbonatos.
- b) Reemplazamiento, se presenta siguiendo el rumbo de los estratos/horizontes de areniscas calcáreas y/o reemplazando los clastos y/o matriz calcárea en el conglomerado, presenta minerales de escalerita y galena.



### 5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El patrón estructural regional sigue el alineamiento general de los Andes Peruanos (N 10° - 30° W). Localmente las rocas se presentan plegadas formando anticlinales y sinclinales. A este sistema corresponden la falla americana, fallas transversales de los sistemas N 50° E a N 75° W cruzan la secuencia litológica y desplazan centralmente a estas. Las principales vetas de Casapalca se han emplazado en el sistema Noreste.

Estructuralmente, la gran estructura Esperanza – Mariana por el Norte y la gran estructura Oroya – Oroya Piso – Oroya 1 al Sur, forman un gran lazo sigmoide de unos 4 Km. de longitud, con abundantes lazos sigmoides menores y ramales que se presentan con mineralización económicamente explotable.

En las partes intermedias, al Oeste se presenta la veta Escondida que aun no ha sido explorada y que puede corresponder a una tercera gran estructura mineralizada: Este gran sigmoide tiene su mejor expresión en las zonas tensionales, donde las vetas se acercan a la dirección Este – Oeste.

En síntesis, la zona muestra plegamientos desarrollándose pliegues invertidos cuyos ejes se orientan paralelamente a la dirección general de los Andes.

Una de las estructuras más resaltantes viene a constituir el Anticlinorium Casapalca, siendo un pliegue moderadamente abierto en la parte central de Casapalca, el cual se cierra hacia el norte hasta constituir una falla inversa de empuje con buzamiento al este.

## **5.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA**

### **5.4.1 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 rellenaron las fracturas con sulfuros y sulfosales Ag, Pb, Zn y Cu, dando lugar a vetas y cuerpos mineralizados.

### **5.4.2 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 (tetraedrita), plomo (galena) y cobre (calcopirita). Los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo.

#### **5.4.3 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 ( $\text{As}_4\text{S}_{13}$  (Cu, Fe, Zn, Ag) <sup>12</sup>, calcopirita ( $\text{S}_2\text{CuFe}$ ) es común, la pirita está presente en cristales cúbicos, huebnerita ( $\text{W}_0\text{4Mn}$ ) y arsenopirita ( $\text{SFeAs}$ ) 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 diseminaciones de pirita cúbica y nódulos de epidota. La zona de alteración se extiende aproximadamente 400 m. de las vetas.

## **5.5 RESERVAS MINERALES.**

Las reservas de mineral estos últimos años se ha incrementado considerablemente, debido a los buenos resultados en las exploraciones y desarrollos de las Vetas Oroya, Ximena, Ximena Piso, Esperanza, Esperanza Piso, Mariana Piso. En los cuerpos mineralizados, las reservas disminuyeron 2 % con relación a la estimación anterior; debemos notar que los cuerpos Chiara, Micaela 2, Emilia Norte, Carmen 4; han incrementado sustancialmente sus reservas. En esta cubicación no se ha considerado los cuerpos Casapalca registrado con sondajes diamantinos en los niveles 10, 14, 18 y los cuerpos Alfa en el nivel 18.

### **VALOR MINIMO (CUT OFF)**

El Cut Off es el límite económico al que se puede explotar un yacimiento minero. En la presente estimación se ha considerado como mineral de rendimiento económico de vetas todo tonelaje cuyo valor esta sobre o

igual \$40 y en el caso de cuerpos todo tonelaje cuyo valor esta sobre o igual %25. Obviamente cualquier variación en el costo total o en el precio de los metales o contratos de venta de los minerales se reflejará en un incremento o disminución de reservas según sea el caso. Además, hemos considerado otros minerales de acuerdo a los siguientes valores:

**Categoría Vetas: Valor US\$ por T.M.S. V**

Económico : Mayor o igual a US\$40

Marginal : Mayor o igual a US\$35 y menor a US\$40

Sub marginal : Mayor 6 igual a US\$30 y menor a US\$35

Informativo : Mayor o igual a US\$20 y menor a US\$30

Valor Referencial : Menor o US\$35

**Categoría Cuerpos: Valor US\$ por T.M.S. V**

Económico: : Mayor o igual a US\$20

Marginal : Mayor o igual a US\$15 y menor a US\$20

Sub marginal : Mayor o igual a US\$12 y menor a US\$15

Informativo : Mayor o igual a US\$10 y menor a US\$12

Valor Referencial : Menor o US\$15

## **CAPITULO VI: OPERACIONES MINERAS**

### **6.1 SISTEMA DE MINADO**

El sistema de minado actual que viene realizándose Casapalca, es el del método de corte relleno ascendente convencional con relleno hidráulico y el corte relleno ascendente mecanizado con taladros largos. Casapalca viene operando con una producción de mineral de 150,000 Toneladas/mes y con leyes de cabeza de 6.22 Oz. De Ag, 1.73 % de Pb, 0.35% de Cu y 2.32 % de Zn.

### **6.2 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 con 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.

Para la explotación la mina se aplican dos métodos de explotación: Uno para la zona de vetas angostas donde se trabaja con método

convencional, semi mecanizado y el otro para zona de cuerpos con métodos mecanizados.

### **6.3 MÉTODO DE CORTE Y RELLENO ASCENDENTE CONVENCIONAL**

Este método de explotación consiste en el corte del mineral en forma de rebanadas horizontales, iniciando de la parte inferior del tajo hasta la parte superior de esta en avanzada, dejando antes una capa de material de una altura de 3.0 m. sobre la galería principal de transporte conocida esta como puente, de tal manera que esta servirá como piso para la iniciación de una explotación en corte y relleno ascendente propiamente dicha.

#### **6.3.1 Condiciones de Aplicación**

Para ser aplicado este método de explotación, los yacimientos minerales deben tener las siguientes condiciones:

- a) Buzamiento, pronunciado ( $70^\circ$ ).
- b) En cualquier depósito y terreno.
- c) Con cajas medianamente competentes.
- d) Las cajas del yacimiento pueden ser irregulares y no competentes.



e) El mineral debe tener buena ley.

f) Disponibilidad del material de relleno.

### **6.3.2 Preparación**

En el desarrollo y preparación de este método de explotación, se realiza el siguiente procedimiento:

a) Se desarrolla una galería de transporte a lo largo del yacimiento (se corre la veta) en un nivel principal con una sección de 2.40 x 2.40 m. respectivamente.

b) Las chimeneas y caminos son construidos a una distancia requerida según el diseño o planeamiento de desarrollo y/o explotación (las chimeneas de comunicación en Casapalca, tienen una altura de 50 m. desde el nivel inferior del tajo hasta el nivel superior del mismo, con una equidistancia de 50 m. entre chimeneas y caminos, de sección 1.20 x 2.40 m de doble compartimiento.

### **6.3.3 Ciclo de Explotación**

Las operaciones unitarias aplicadas en este método de explotación son las siguientes:

### **6.3.3.1 Perforación- voladura**

La ventaja de realizar una perforación horizontal con respecto a una perforación vertical, es la siguiente:

- ✓ Cuando los taladros son perforados horizontalmente (en Breasting), el techo volado tiende a quedar como una superficie lisa, por lo tanto, existe menos riesgo de caída de material sobre el maestro perforista, reduciendo de esta manera el riesgo de accidente.
- ✓ La perforación horizontal, permite una perforación selectiva, donde los minerales de baja ley pueden ser dejados en el tajeo como relleno, mientras que en la perforación vertical es prácticamente imposible determinar lo señalado puesto que no se logra ver con claridad el material que se está perforando. La voladura se efectúa primeramente realizando el trazo de la malla de perforación, el cual influye directamente en la calidad de fragmentación del mineral, la densidad de carga explosiva, secuencia de iniciación y otros parámetros.
- ✓ El explosivo que se viene utilizando es el Emulex de 45%, 65% y 80% de fabricación EXSA y Emulnor de

1000, 3000 y 5000 de fabricación de F AMESA, dependiendo del tipo de voladura que se desea realizar, como accesorios de voladura se utilizan, carmex y mecha rápida Z-18 para iniciar el encendido. Las cuales ya vienen ensambladas, listas para realizar el amarre respectivo con la mecha rápida y los conectores.

### **6.3.3.2 Limpieza**

La limpieza del tajeo de explotación es una operación que consiste en extraer el mineral mediante un equipó de rastrillaje conocido como scrappers hasta las tolvas de carguío, que luego son vaciados realizando una evacuación por gravedad, donde el mineral resbala por las tolvas hasta los carros mineros U-35 ubicados en las galerías principales de extracción. Este equipo está compuesto por los siguientes componentes:

#### **Rastrillo**

Llamado también scrappers, los cuales son de formas y tamaños diferentes de acuerdo al trabajo destinado; sin embargo, dos componentes básicos permanecen

constantes que son el asa y la placa posterior de excavación.

El asa es el que une los extremos de la placa posterior y su función es equilibrar y en la mayoría de los rastrillos es fija, en otras tienen cierto juego en el contacto con la placa posterior.

### **Winche**

Es el elemento motriz, comprende la tambora y el motor, en Casapalca se cuenta con winches de 1 a 2 tamboras, todas con motor eléctrico, con potencias de 15, a 40 HP, donde la tambora puede almacenar hasta 150m. de cable, con un diámetro estándar de 3/4".

### **Polea**

Llamado también rondana, el cual sirve para sostener, guiar y facilitar el movimiento del cable de avance durante la operación de rastrillaje. El procedimiento que se debe tomar en cuenta para realizar el proceso de rastrillaje. Es el siguiente:

- ✓ Se fija en la pared del tajeo una alcayata entre las cajas de la veta Se coloca la rondana o polea respectiva bien fijada.
- ✓ Inmediatamente se colocan los cables, de tal manera que estas sean de acuerdo al tamaño de las ranuras.

#### **6.3.3.3 Sostenimiento**

Para el sostenimiento de los tajeos de explotación, se emplea el Jack Pots, que consisten en un sostenimiento activo e inmediato de las cajas, el cual permite realizar la actividad de limpieza con total seguridad. Es un elemento que trabaja similar a un puntal de seguridad colocado manualmente, pero el tiempo de instalación es más rápido y eficiente. Consiste en fijar bien el puntal de seguridad en la caja piso y luego colocar el plato en la caja techo, el cual es insuflado de aire mediante una bomba manual hasta alcanzar la presión requerida.

#### **6.3.3.4. Relleno**

Consiste en la recepción de relave proveniente de la planta concentradora, el cual es depositado en un cajón de alimentación que luego es bombeado hacia los 02 silos de

capacidad de 215 m<sup>3</sup>. Cada uno, luego de llenado estos silos en un promedio de 9.00 horas, pasan inmediatamente hacia los agitadores para luego ser bombeados hasta interior mina. El tiempo promedio de vaciado de cada silo es de 2 horas y 45 minutos.

Para el relleno de los tajeos de explotación, primeramente se debe realizar la preparación correspondiente con la colocación de puntales de línea y el enrejado respectivo, inmediatamente debe ser cubierto por una tela arpillera (yute) en todo el largo del tajeo hasta la altura de relleno, que debe ser la altura de perforación adecuada para realizar el siguiente corte 2.20 m. inmediatamente se prosigue con la instalación temporal de tubería desde las troncales hasta el tajeo de relleno y finalmente se prosigue con el relleno correspondiente según el procedimiento.

#### **6.4 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUBLEVEL STOPING**

“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.

Existen dos variaciones en este método:

El método taladros paralelo (LBH).

El método taladros en abanico.

### Gráfico N°6.1: Diseño y preparación para la explotación



**Fuente:** Oficina Mina - Compañía Minera Casapalca.

## Gráfico N°6.2: Diseño y preparación para la explotación



**Fuente:** Oficina Mina - Compañía Minera Casapalca.

### 6.4.1 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.

### 6.4.2 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 : Cuerpos	Vetas y
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

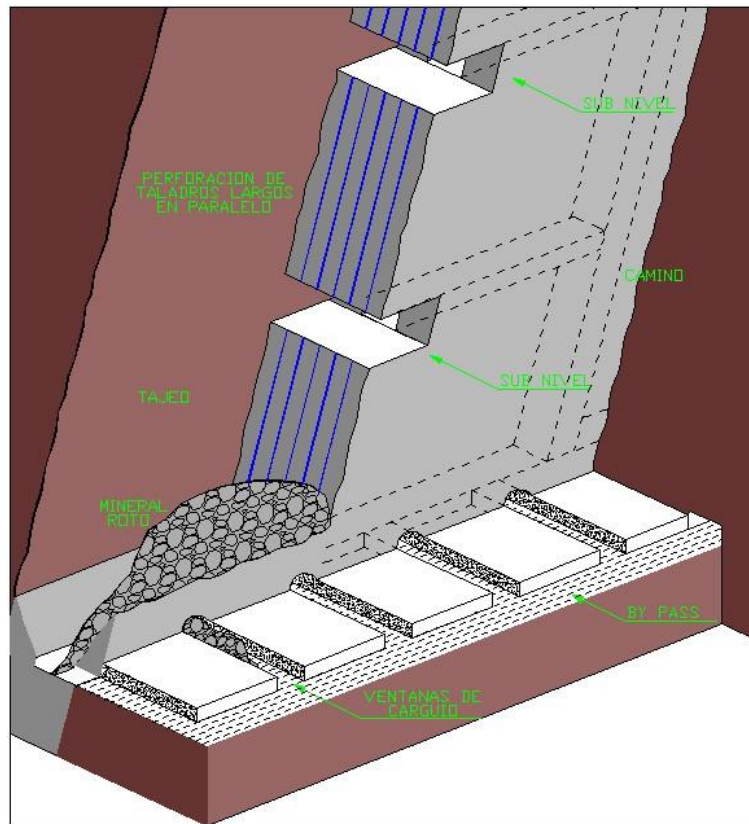
#### **6.4.3 Método de Taladros Largos Paralelo**

Este método es aplicado básicamente en bloks 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 64mm con la finalidad de minimizar la desviación de los taladros.

Los Ch - slot utilizado 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.

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



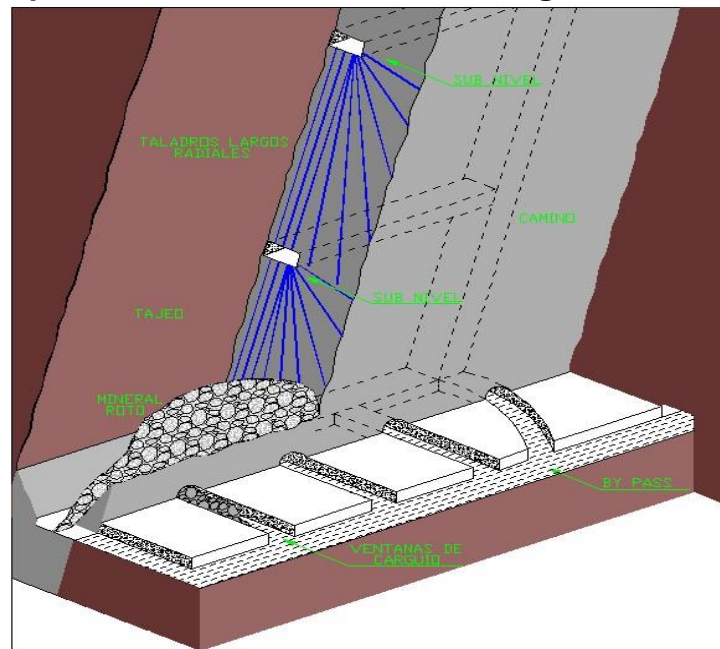
Fuente: Revista Atlas Copco, métodos de explotación

#### 6.4.4 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: Método 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 6.2: Metodo de taladros largos en abanico.**



**Fuente:** Revista Atlas Copco, métodos de explotación

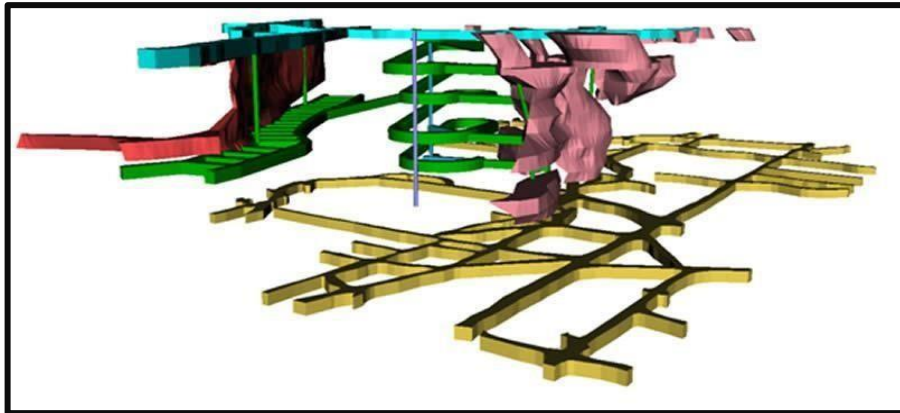
## 6.4.5 Operaciones Unitarias

### 6.4.5.1 Preparación

El acceso a los tajeos de explotación es por rampa y cortadas normalmente ubicados en la caja piso de los tajeos.

La galería de extracción (by pass) debe ser desarrollada en el nivel base (caja piso) del tajeo, paralela 47 a la zona mineralizada y en estéril, el desarrollo de estocadas o “draw points” que unen la galería de extracción con la galería sobre veta, para la recuperación del mineral derribado. Ver esquema N° 6.3: Preparación método de explotación.

### **Esquema N° 6.3: Preparación método de explotación**



**Fuente:** Información Oficina Mina - Compañía Minera Casapalca.

Las galerías de perforación (subniveles) deben estar en la zona mineralizada.

Se ejecuta una Ch - slot que sirve como cara libre para iniciar la voladura.

#### **6.4.5.2 Perforación:**

La perforación de taladros largos es la principal actividad en el minado por subniveles, esta operación requiere de bastante control y precisión antes de iniciar la perforación, el control y precisión son un factor determinante para lograr una voladura óptima y eficiente.

El uso de diámetros menores y longitud de taladros mayores básicamente generan la desviación del taladro es un problema común pero controlable.

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

El Simba 1254 es un equipo de perforación de barrenos largos para galerías de tamaño 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 6.1.

**Fotografía 6.1: Simba H1254**



**Fuente: Libro 2009, Atlas Copco Simba H1254**

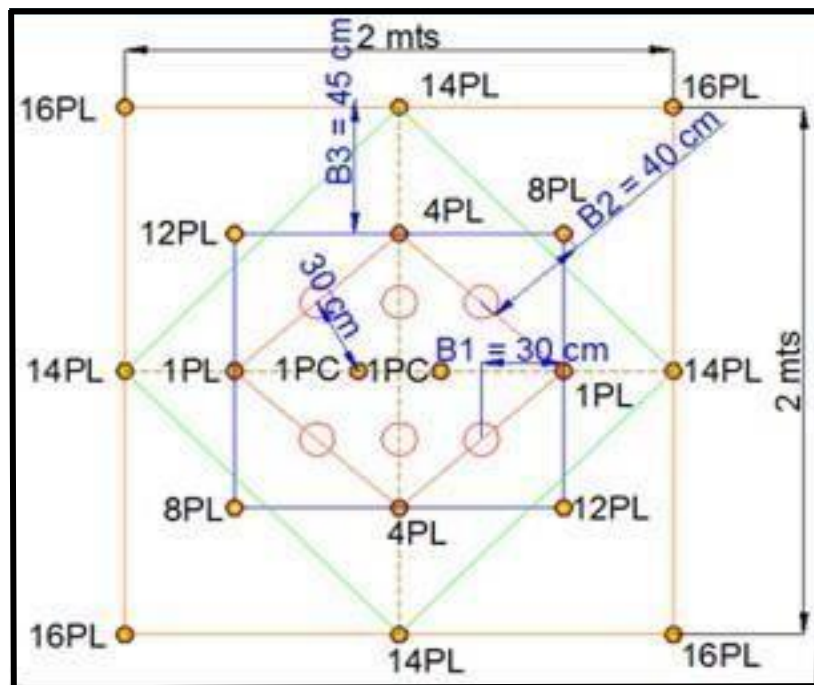
#### **6.4.6 Cara Libre de los Tajeo de Producción**

##### **6.4.6.1 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.: Diseño de malla de perforación Slot.

**Esquema N° 6.4: Diseño de malla de perforación Slot.**



**Fuente:** Información Oficina Mina - Compañía Minera Casapalca.



#### **6.4.6.2 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.

#### **6.4.7 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<sup>3</sup>.

## **CAPITULO VII: EVALUACION GEOMECANICA**

### **7.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MASA ROCOSA**

Para la caracterización de la masa rocosa de la Mina Casapalca, se registraron datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, que se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Mediante este método se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición (En), representada por un tramo de extensión variable de la roca expuesta en las excavaciones Subterráneas.

Los parámetros tomados en cuenta fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura,

rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento.

## **7.2 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.

## **7.3 DISTRIBUCIÓN DE DISCONTINUIDADES**

Para establecer las características de la distribución de discontinuidades estructurales tanto mayores como menores, el procesamiento de los datos orientacionales se realizó mediante técnicas de proyección estereográfica equiareal, utilizando el software DIPS Versión 5.103 de

Rocscience Inc. (2004). Por presentar mejores facilidades gráficas de salidas de los estereogramas, se ha utilizado también la versión avanzada 3.12 (1989 - 95) elaborada por M.S. Diederichs y E. Hoek del Grupo de Ingeniería de Rocas del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Toronto (Canadá).

Como se muestra en los gráficos 7.1, 7.2 y 7.3, de manera general en el área de evaluación se presentan tres sistemas típicos de discontinuidades conformando el arreglo estructural de la masa rocosa de los Cuerpos Esperanza y Chiara. Estos sistemas son:<sup>5</sup>

Sistema 1: Con rumbo N12°W y buzamiento 74°SW.

Sistema 2: Con rumbo N82°E y buzamiento 76°SE.

Sistema 3: Con rumbo N20°W y buzamiento 76°NE.

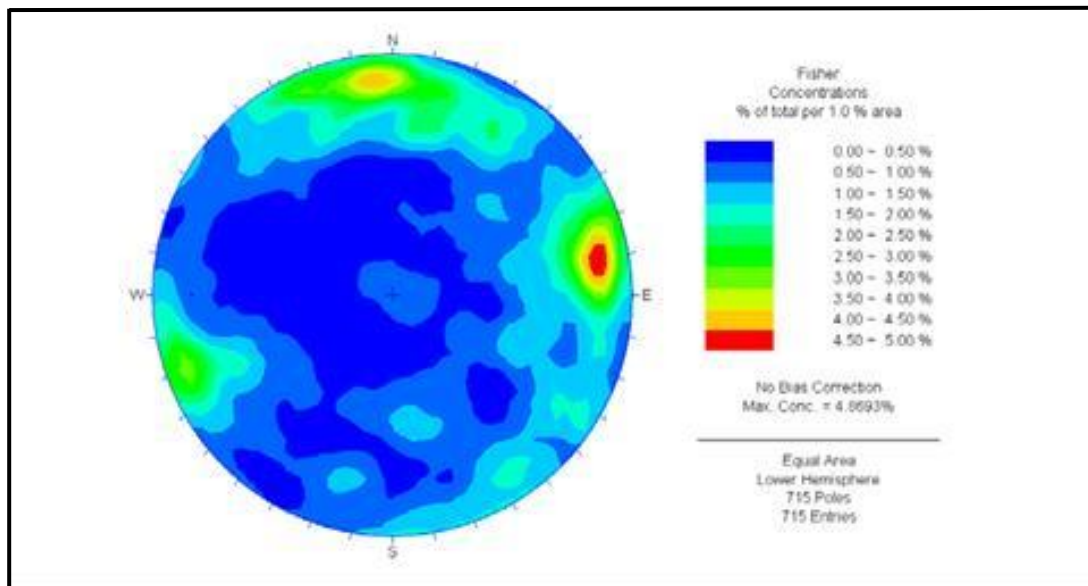
Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas. El sistema principal de fallas en esta área de evaluación tiene rumbo de NE a NNE y buzamientos moderados a altos hacia el NW. En el análisis estereográfico compósito no se puede apreciar este sistema de fallas debido al reducido número de las mismas frente a la numerosa cantidad de datos de diaclasas.

---

<sup>5</sup> Este sistema de discontinuidades, visto en los gráficos 7.1, 7.2 y 7.3; fueron desarrollados a través del programa de RockScience .- Software DPIS.

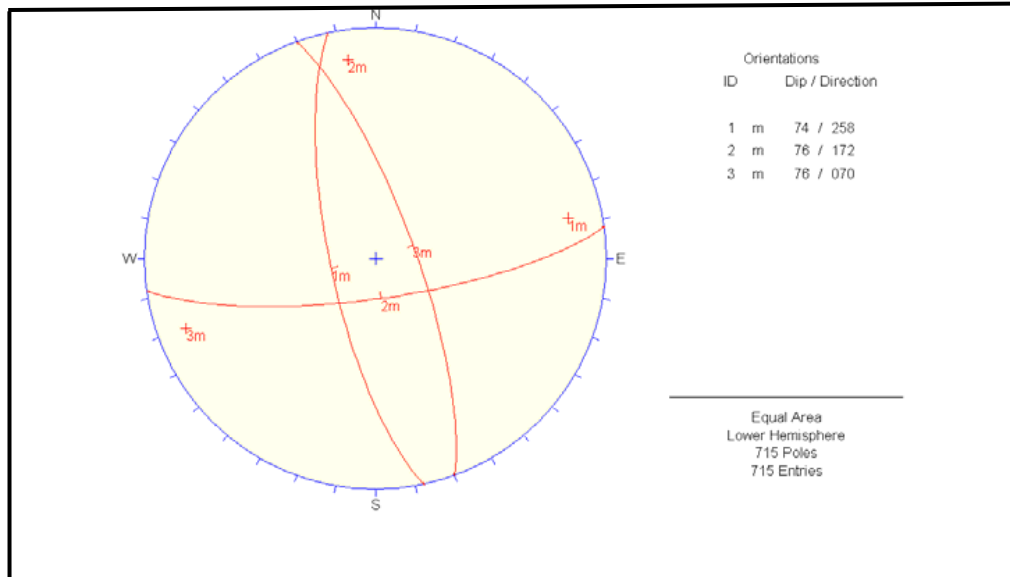
Aparte de este arreglo estructural general del área de evaluación, localmente se presentan sistemas de discontinuidades adicionales a las nombradas. El arreglo estructural de estas áreas locales, en mineral y estéril, han sido identificadas por similitud entre las estaciones de mapeo geomecánico.

**Gráfico N°7.1: Diagrama estereográfico de contornos del compósito general**



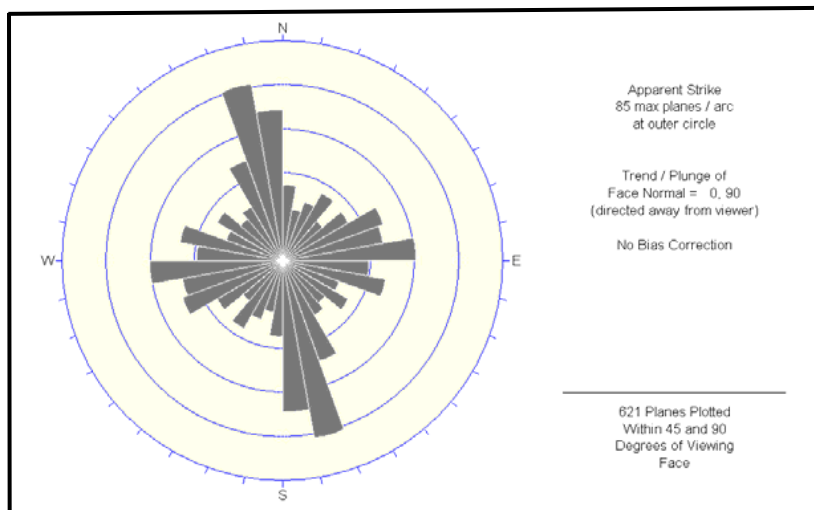
**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**Gráfico N°7.2: Diagrama estereográfico de planos principales del con pósito general.**



**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**Gráfico 7.3: Diagrama de roseta de discontinuidades del con pósito general.**



**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

## **7.4 ASPECTOS ESTRUCTURALES**

Las características estructurales de las discontinuidades, s56e establecieron mediante tratamiento estadístico de la información registrada en el mapeo geomecánico de afloramientos rocosos, el que se trató de compatibilizar con las observaciones in-situ. Según esto, las siguientes son las principales características estructurales de las discontinuidades mayores (fallas) y menores (diaclasas).

### **Fallas**

Las fallas tienen espaciamientos por lo general de 3 a 10 m. La persistencia es de decenas de metros y en algunos casos de unas centenas de metros: la apertura es de 1 a 5 mm, las superficies de las caras son ligeramente rugosas a lisas y espejos de falla con ciertas ondulaciones y estrías de falla. Estas estructuras están rellenas con materiales de panizo, brechas, materiales oxidados y arcillas, el espesor de estos rellenos varía entre 5 y 10 cm. El área de influencia de las fallas es de decenas de cm. Las fallas son estructuras favorables para las filtraciones de aguas superficiales hacia el interior del macizo rocoso.

### **Diaclasas**

Sus características estructurales son: espaciamiento entre 20 a 60 cm, persistencia de 3 a 10 m., apertura variable de 1 a 5mm y menores



de 1mm en algunos casos cerrada y sin relleno, la rugosidad de las paredes es ligeramente rugosa a rugosa con ciertas ondulaciones con relleno suave a duro con presencia de calcitas de espesores entre 0.5 a 1 cm. Las paredes de las discontinuidades estructurales por lo general son ligeramente alteradas con cierta presencia de goteo de agua localmente.

## **7.5 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA**

Para clasificar geomecánica mente a la masa rocosa se utilizó el criterio de clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocosos – 1989). Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron obtenidos conforme a los procedimientos. Resistencia de la roca intacta. Los valores del índice de calidad de la roca (RQD) fueron determinados mediante el registro lineal de discontinuidades, utilizando la relación propuesta por Priest & Hudson (1986), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento por metro lineal.

El criterio de Bieniawski (1989) modificado para esta evaluación a fin de clasificar a la masa rocosa se presenta en el siguiente cuadro:

### Cuadro N° 7.1: Criterio para la clasificación de la masa rocosa

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
II	> 60	Buena
IIIA	51 – 60	Regular A
IIIB	41 – 50	Regular B
IVA	31 – 40	Mala A
IVB	21 – 30	Mala B
V	< 20	Muy Mala

**Fuente:** Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca.

La masa rocosa del área de evaluación mayormente esta entre los Tipos IIIA y II (RMR 55 - 65), es decir está en el rango superior de las rocas de calidad Regular A y en el rango inferior de rocas de calidad Buena. Localmente hay presencia de rocas de calidad Regular B (IIIB - RMR 41-50) en el rango superior, y en algunos sitios muy puntuales, las rocas son de calidad Mala A (IVA – RMR 31-40).

### 7.6 ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA

Para la aplicación racional de los diferentes métodos de cálculo de la mecánica de rocas, es necesario que la masa rocosa bajo estudio esté dividida en áreas de características estructurales y mecánicas similares, debido a que los criterios de diseño y el análisis de los resultados serán válidos solo dentro de masas rocosas que presenten propiedades físicas y mecánicas similares. Por ello, es necesario realizar

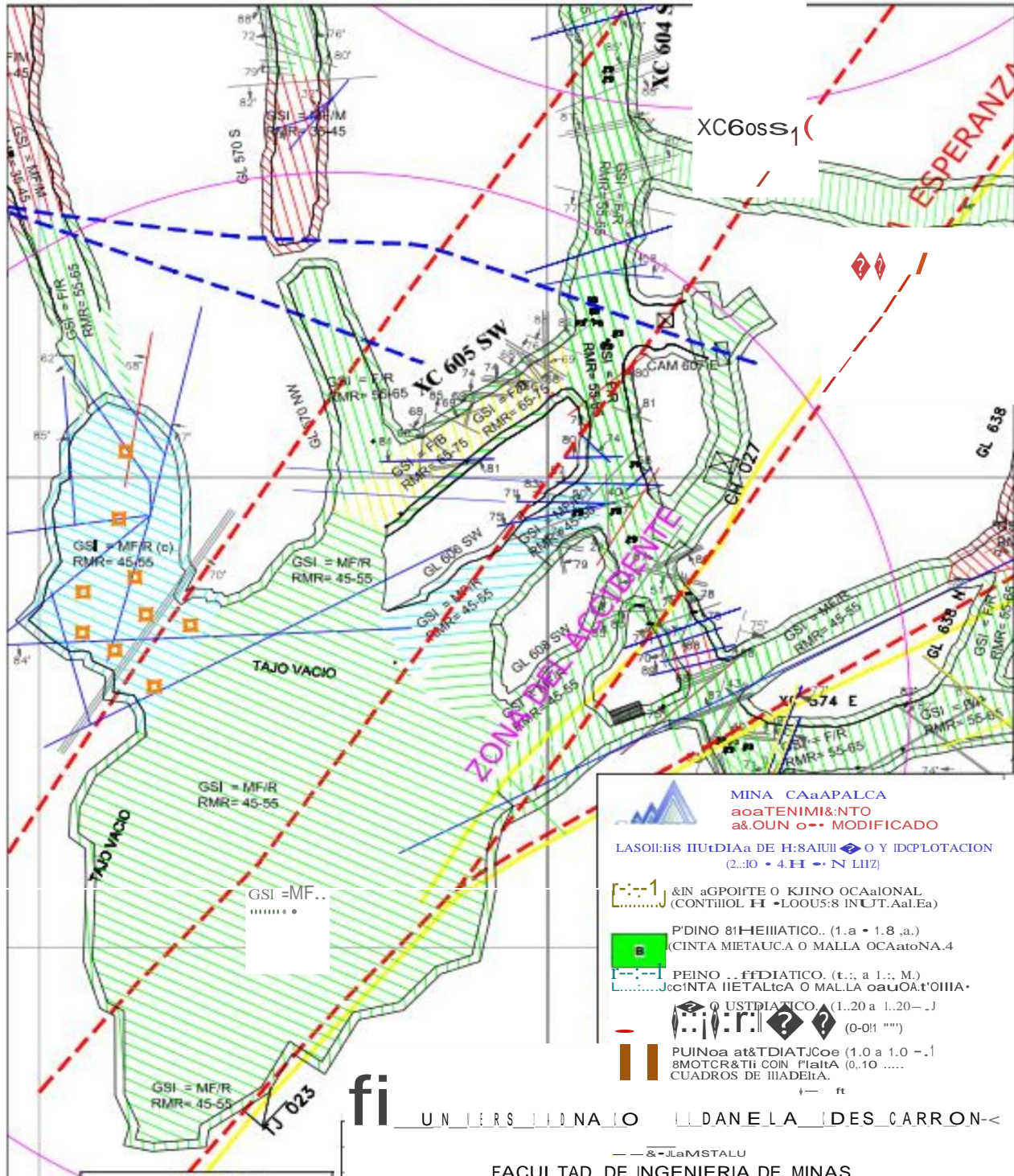
la zonificación geomecánica o lo que es lo mismo establecer los dominios estructurales. Ver plano geomecánico No. 7.1.

Como la masa rocosa involucrada con los Cuerpos Mery es mayormente de calidad Regular A (IIIA) a Buena (II), entonces estas rocas conforman el dominio estructural principal. Esta información fue contrastada con la zonificación geomecánica elaborada por el Departamento de Geomecánica de Mina Casapalca, habiendo un buen grado de concordancia. En los planos de zonificación geomecánica proporcionados por Minera Casapalca, se pueden ver detalles de este trabajo y algunos sitios puntuales de rocas que corresponden a los dominios de calidad Regular B (IIIB) y Mala A (IVA).

## **7.7 RESISTENCIA DE LA ROCA**

### **7.7.1 Resistencia de la Roca Intacta**

Uno de los parámetros más importantes del comportamiento mecánico de la masa rocosa, es la resistencia compresiva no confinada de la roca intacta ( $\sigma_c$ ). Durante los trabajos de campo, como parte del mapeo geomecánico de las labores mineras se ejecutaron ensayos de golpe con el martillo de geólogo y con el



LEYENDA

⬡ alta

⬡ Sistema de Juntas

fi UNIVERSIDAD NACIONAL DELA DEL CARRON

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS  
 COMPAÑIA MINERA CASAPALCA  
 PLANO: GEOMECANICO

DiBUJO: Jimmy Meza A.

Plano No.

Fecha: Junio 2018

Escala:

S/E

7.1

martillo de Schmidt, siguiendo las normas sugeridas por la ISRM, a fin de estimar la resistencia compresiva de la roca intacta. Los valores de las resistencias así estimadas.

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 Casapalca. Los resultados de estos ensayos se presentan en el Anexo 2 y un resumen del mismo en el siguiente cuadro:

**Cuadro N°7.2: Resistencia compresiva de la roca intacta**

**(Determinada con ensayos de compresión uniaxial)**

<b>Muestra</b>	<b><math>\sigma_c</math> (MPa)</b>
NV-5A CPO-EMI-ORE	43.20
NV-5A MERY-S ORE	123.86
NV-5A CPO-ESP-ORE	63.45
NV-4B CPO-SOF-ORE	104.00
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	162.70
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

**Fuente:** Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca.

Otro parámetro importante del comportamiento mecánico de la roca intacta es la constante “m” del criterio de falla de Hoek & Brown. Este parámetro fue determinado también mediante ensayos de compresión triaxial en laboratorio de mecánica de rocas. Un resumen de los mismos se presenta en el Cuadro 7.3.

Finalmente, respecto a la roca intacta, se han llevado a cabo también ensayos de propiedades físicas, a fin de tener disponible estos parámetros para los cálculos de diseño. En el Cuadro 7.4 se presenta el resumen de los resultados.

**Cuadro N° 7.3: Valores de la constante “mi” de la roca intacta (Determinadas con ensayos de compresión triaxial)**

Muestra	“mi”	Angulo de Fricción Interna (°)	Cohesión (MPa)
NV-4B CPO-EMI ORE			
NV-5A CPO-EMI ORE			
NV-4B CPO-SOF ORE			
NV-5A MERY-N ORE NV-	14.80	47.20	20.60
NV-4B GAL-841 WASTE			
NV-3A GAL-894 WASTE			
NV-5A XC-850 WASTE NV-			
5A XC-780 WASTE	18.10	51.30	28.90

**Fuente:** Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca.

#### **Cuadro N° 7.4: Propiedades físicas de la roca intacta**

<b>Muestra</b>	<b>Porosidad</b>	<b>Absorción</b>	<b>Peso Específico Aparente</b>
	<b>d</b>	<b>n</b>	
NV-4B CPO-EMI-ORE	2.83	1.02	27.21
NV-5A CPO-ESP-ORE	0.65	0.23	27.64
NV-5A XC-850 WASTE	1.44	0.53	26.38
NV-5A XC-780 WASTE	0.95	0.34	27.79

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

#### **7.7.2 Resistencia de las Discontinuidades**

Desde el punto de vista de la estabilidad estructuralmente controlada, es importante conocer las características de resistencia al corte de las discontinuidades, puesto que estas constituyen superficies de debilidad de la masa rocosa y por tanto planos potenciales de falla. La resistencia al corte en este caso está regida por los parámetros de fricción y cohesión de los criterios de falla Mohr-Coulomb. Para propósitos de los cálculos de diseño, se han determinado los parámetros de corte mediante la ejecución de ensayos de corte directo en laboratorio de mecánica de rocas. Los resultados se presentan en el Cuadro 7.5.

### **7.7.3 Resistencia de la Masa Rocosa**

Para estimar los parámetros de resistencia de la masa rocosa, se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown (2006), mediante el programa Roclab de Rocscience Inc. (2006). Para ello se tomaron los valores más representativos de calidad de la masa rocosa involucrada con cada dominio estructural, asimismo de resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta y de la constante “m” de la roca intacta, desarrollados en este estudio. Como en el mapeo geomecánico fueron observadas mayormente condiciones húmedas de presencia del agua, los valores de calidad RMR corresponden a los valores de GSI (Índice de Resistencia Geológica).

Los equipos e instrumentos de ingeniería básicos son una brújula, una cinta métrica, una picota, una lámpara de largo alcance, un distómetro, un martillo Schmidt de dureza, un extensómetro de cinta, un equipo de carga puntual, y un probador de pernos de roca (rock bolt tester).



**Cuadro N° 7.5: Resistencia de las discontinuidades  
(Determinado con ensayos de corte directo)**

<b>Muestra</b>	<b>Angulo de Fricción</b>	<b>Cohesión</b>
NV-5A MERY-N ORE	28.90	0.147
NV-4B GAL-841 WASTE	28.70	0.151

**Fuente:** Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca.

En el Cuadro 7.6, se presentan los resultados obtenidos sobre las propiedades de resistencia de la masa rocosa del área de evaluación, para cada sección de análisis de la estabilidad.

**Cuadro N° 7.6: Parámetros de resistencia de la masa rocosa**

Tipo de roca	RMR	$\sigma_c$ MPa	$\gamma$	H (m)	“m”	m	S	Emr MPa	Poisson $\nu$
<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
Desmante	62	150	26.5	480	18	3.300	0.0077	18273	0.25
Desmante	64	160	26.5	480	18	3.608	0.0099	21489	0.25
Desmante	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
Desmante	58	140	26.5	480	18	2.760	0.0046	13751	0.25
Desmante	63	150	26.5	480	18	3.451	0.0087	19204	0.25
Desmante	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
Desmante	60	150	26.5	480	18	3.018	0.0059	16461	0.25
Desmante	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
Desmante	59	140	26.5	480	18	2.886	0.0052	14546	0.25
Desmante	63	150	26.5	480	18	3.451	0.0087	19204	0.25

**Fuente:** Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca.

## **7.8 CONDICIONES DE AGUA SUBTERRÁNEA**

En el área de evaluación no es muy significativa la presencia de agua subterránea, lo que se ha observado durante los trabajos de campo han sido condiciones de la masa rocosa mayormente secas a húmedas (se encuentra en promedio de 0.062%), 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.

## **7.9 ESFUERZOS IN-SITU**

La profundidad promedio de las áreas de minado de los Cuerpos Mery es de unos 480 m respecto a la superficie del terreno, por ello, los esfuerzos serán de magnitud relativamente moderada, pudiendo en ciertos casos llegar a ser altos. Se ha estimado el esfuerzo vertical a partir del criterio de carga litostática (Hoek & Brown, 1978), considerando una profundidad de 480 m antes señalada. Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ resulta aproximadamente 13 MPa. La constante "k" (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal, fue estimado utilizando el criterio de Sheorey (1994) y las observaciones de campo realizadas, según esto, k sería

aproximadamente 0.55, con el que se obtiene un esfuerzo horizontal in-situ también de aproximadamente 7 MPa.

Es conocido que en Mina Casapalca, en los niveles más profundos ocurren problemas relacionados a altos esfuerzos en roca competente (estallidos de rocas).

El esfuerzo vertical esta dado por la siguiente formula:

### **Esfuerzo Vertical**

$$\sigma_v = \delta \cdot h$$

**Donde:**  $\delta$ =densidad de la roca, Ton/m<sup>3</sup>

h= altura de la sobrecarga, metros.

### **Esfuerzo Horizontal**

Para la estimación del Ratio K se usó la ecuación de Sheorey:

$$k = 0.25 + 7E (0.001 + 1/z)$$

**Dónde:** E = Modulo Elástico de campo (GPa),

z = Profundidad, metros.

Para llevar adelante el programa geomecánico es que se dote al personal responsable de esta área de las herramientas tecnológicas mínimas necesarias, que comprende principalmente a los equipos e instrumentos de ingeniería y al software. Los equipos e instrumentos de ingeniería básicos son una brújula, una cinta métrica, una picota, una lámpara de largo alcance, un distómetro, un martillo Schmidt de dureza, un extensómetro de cinta, un equipo de carga puntual, y un probador de pernos de roca (rock bolt tester). El software básico para aplicaciones en minado subterráneo puede ser la serie de programas de Rocscience Inc. como el DIPS, UNWEDGE, PHASE2, CPILLAR, etc., que son muy útiles para el trabajo de modelamientos matemáticos. En la medida que la empresa disponga de mayores recursos financieros, se podrá adquirir software más elaborados como el FLAC (2D, 3D), UDEC, TRIDEC, etc. Es recomendable que la empresa adquiera por lo menos las herramientas tecnológicas básicas.

## **CAPITULO VIII: MODELAMIENTO DE CUERPOS MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8**

### **8.1 GENERALIDADES**

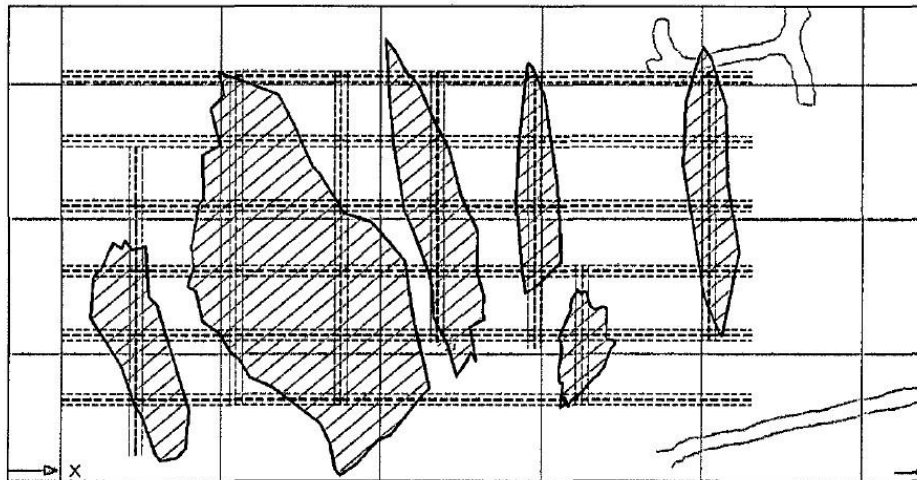
La zona de los Cuerpos Mery comprende a una serie de cuerpos mineralizados de geometría generalmente irregular, que vienen siendo explotados por Minera Casapalca S.A. Los cuerpos principales son: Esperanza, Emilia, Mery (Anita), Sofía y Sorpresa, habiendo además otros cuerpos secundarios como Chiara.

Espacialmente, estos cuerpos mineralizados están ubicados dentro de un área de aproximadamente 200 m x 200 m en planta y en conjunto comprenden alturas de 100 a 200 m. Los cuerpos mineralizados están separados por roca estéril encajonante, formando pilares cuando se

apertura las cavidades del minado. Cuando estos cuerpos mineralizados son minados, se genera una alta densidad de excavaciones distribuidas espacialmente de tal manera que sus influencias recíprocas pueden producir situaciones de inestabilidad potencial tanto local como global, si es que no hubiera un planeamiento y diseño adecuado del minado.

El propósito de las operaciones mineras es establecer los esquemas y secuencias de avance del minado en los cuerpos mineralizados antes nombrados, y para cumplir con tal objetivo se realiza como actividad central, el modelamiento numérico del minado de los Cuerpos Esperanza, Chiara que a continuación se presenta.

**Esquema No 8.1:** Cuerpos mineralizados de veta esperanza en vista 2D



**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

## **8.2 MODELAMIENTOS NUMÉRICOS**

El grado de estabilidad que presentarán las excavaciones asociadas al minado de los cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 08, dependerá entre otros del esquema y secuencia de avance de la explotación de estos cuerpos. A fin de determinar el grado de estabilidad de estas excavaciones, se han realizado modelamientos numéricos de esfuerzo/deformación utilizando el método de elementos finitos mediante el programa PHASE Página DCR Ingenieros S.R.Ltda. Versión 6.004 de Rocscience Inc. (2005).

Se presentan dos tipos de modelamientos, el primero, simulando que todas las excavaciones quedan vacías al final de la explotación, y el segundo, simulando el relleno de cavidades claves para mantener condiciones adecuadas de estabilidad de las excavaciones en su conjunto, a nivel local y global. Estas últimas simulaciones constituyen la solución al problema de establecer adecuados esquemas y secuencias de avance para el minado. Para realizar estos dos tipos de modelamientos se han tomado cuatro secciones típicas representativas de los mineralizados del nivel 10 al nivel 8.

Cabe señalar que para los primeros modelamientos se utilizaron los esquemas y secuencias de avance del minado sugeridos por Minera



Casapalca. Tomando estos resultados como punto de partida, los siguientes modelamientos estuvieron dirigidos a la búsqueda de las mejores alternativas de minado.

Para poder afirmar que, si se dejaran abiertas y vacías todas las excavaciones realizadas como parte del minado, podrían generarse en algunos lugares condiciones críticas de estabilidad de las excavaciones, lo cual podría involucrar procesos de inestabilidad potencial de pilares, puentes y otros componentes del minado. La causa principal para estas situaciones críticas sería la influencia recíproca o interacción de las excavaciones por la ubicación o distribución espacial y cercanía de las mismas.

Las soluciones a las que se ha llegado en los modelamientos numéricos, involucran el uso del relleno de las cavidades como estrategia para el manejo del control de la estabilidad de las labores mineras. Este relleno sería solamente parcial y en cavidades claves para lograr condiciones de estabilidad satisfactorias.

### **8.3 ESTABILIDAD ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA**

La geometría tridimensional de las excavaciones en relación a la distribución espacial de las discontinuidades (fallas, diaclasas, estratos, etc.), las cuales constituyen planos de debilidad, influyen sobre las

condiciones de estabilidad. A este tipo de estabilidad se le denomina “estabilidad estructuralmente controlada”. Los planos de debilidad que conforman el arreglo estructural de la masa rocosa, al interceptarse, podrían formar cuñas o bloques rocosos en el techo y paredes de las excavaciones, presentando libertad para descolgarse, rotar o deslizar.

Para evaluar la influencia del arreglo estructural de la masa rocosa en la estabilidad de las excavaciones, se ha realizado el análisis de estabilidad estructuralmente controlado, utilizando el programa de cómputo UNWEDGE Versión 3.004 de Rocscience Inc. (2004).

Para ello se ha tomado la información de la distribución de las discontinuidades, las propiedades de resistencia de las discontinuidades del y se han considerado las dimensiones de los tajeos de una manera relativa, debido a que este análisis puede ser válido para excavaciones de diferentes dimensiones, pero con la misma orientación.

#### **8.4 DIMENSIONES DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL MINADO**

Debe entenderse aquí que los componentes estructurales del minado están referidos a los tajeos, a los pilares puentes y a los pilares formados entre los cuerpos mineralizados adyacentes.

Para el caso de los tajeos, podemos dimensionar estos utilizando el Método Gráfico de Estabilidad (MGE), tal como aparece en la publicación

de Hoek, Kaiser y Bawden (1995) –Ref. 9. Este método fue desarrollado por Potvin (1988), Potvin y Milne (1992) y Nickson (1992), siguiendo los trabajos iniciados por Mathews et. al. (1981). La versión actual del método, basado en el análisis de más de 350 casos históricos recolectados de minas subterráneas canadienses, (se ha obtenido información del libro Support of Underground Excavations in Hard Rock, E. Hoek.P.k. Kaiser - W.F.Bawden, Canadá que se relacionan al presente estudio) toma en cuenta los principales factores de influencia del diseño de tajeos. Información sobre la estructura y resistencia de la masa rocosa, los esfuerzos alrededor de la excavación, y el tamaño, forma y orientación de la excavación, es utilizada para determinar si el tajeo será estable sin sostenimiento o con sostenimiento, o inestable aún con sostenimiento. El método también es adecuado para el dimensionamiento del sostenimiento con cablebolt.

En forma muy resumida, el procedimiento de diseño aplicando este método está basado en el cálculo de dos factores: N' y S. El primero es el número de estabilidad modificado y representa la habilidad del macizo rocoso para permanecer estable bajo una condición de esfuerzo dado. El segundo es el factor de forma o radio hidráulico que toma en cuenta el tamaño y forma del tajeo.

El número de estabilidad  $N'$  se define como:  $N' = Q' \times A \times B \times C$ ,

donde:

**Q'** es el Índice de Calidad Tonelera Q modificado

**A** es el factor de esfuerzo en la roca

**B** es el factor de ajuste por orientación de las juntas

**C** es el factor de ajuste gravitacional

El factor de forma o radio hidráulico  $S$ , para la superficie del tajeo bajo consideración, se obtiene dividiendo el “área de la sección transversal de la superficie analizada” entre el “perímetro de la superficie analizada”. Las superficies analizadas en este caso son el techo, la caja techo, la caja piso y las paredes de los extremos del tajeo.

Usando los valores del número de estabilidad  $N'$ , y el radio hidráulico  $S$ , se puede estimar la estabilidad de un tajeo a partir del “gráfico de estabilidad”.

Tomando propiedades promedio de la masa rocosa involucrada con los Cuerpos Mery, se ha determinado por ejemplo para el caso del Cuerpo Esperanza, un radio hidráulico o denominado también factor de forma de 9 para el techo de la excavación y de 8 para la caja. Estos radios hidráulicos significan dimensiones máximas en el techo de 36 m x 36 m y

en la caja techo dimensiones máximas de 52 m de longitud para 20 m de altura, o 25 m de longitud para 40 m de altura, o 20 m de longitud para 60 m de altura.

Como algunos techos formados en el proceso de minado tienen dimensiones considerables, será necesario utilizar sostenimiento en base a pernos de roca tipo split sets y malla de ser necesarios. El desatado debe ser una labor permanente en estos techos amplios.

En cuanto a las dimensiones de los pilares puentes. De acuerdo a la luz de la base de los pilares puentes, estos tendrán una altura desde 6 m hasta 8 m. Estos resultados del análisis numérico han sido contrastados con los resultados obtenidos con el programa **CPILLAR** de Rocscience Inc. (1998), obteniéndose resultados similares.

En cuanto a las dimensiones de los pilares formados entre dos cuerpos adyacentes, estos no deben ser menores que 8 m, según indicación del modelamiento numérico.

## **8.5 PATRÓN ESTRUCTURAL**

El patrón estructural sigue el alineamiento general de los Andes Peruanos (N 0° - 30° W), localmente las rocas están plegadas formando anticlinales y sinclinales. Fallas transversales de los sistemas N 30° - 80° E y N 70° - 85° W cruzan la secuencia litológica, las principales vetas de Casapalca se han emplazado en el sistema noreste.

## **CAPÍTULO IX: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **9.1 EVALUACIONES DE LAS CONDICIONES GEOMECÁNICAS DEL CUERPO ESPERANZA, ESPERANZA TECHO, ESPERANZA PISO Y CUERPO CHIARA.**

#### **Zona Nv. 8 al Nv.10 arenisca silicificada y Cuerpos Esperanza**

#### **Resistencia del macizo rocoso con el martillo schmidt**

- Compresión Uniaxial : 160 Mpa.
- Módulo de Young : 44 GPa. O (44,000 Mpa.)
- GSI: MF/B-R Obteniendo un valor numérico de 65 A 60.
- RMR: 70 – 60 PROMEDIO = 65; Q: 1 - 5

### Cálculo de esfuerzos in situ

✓ Estado Gravitacional: Profundidad a 648 m. al Nv. 10.

Esfuerzo Vertical  $\delta \sigma = \gamma z = 17.5 \text{ Mpa}$ .

Esfuerzo Horizontal  $k \sigma_v = \gamma \sigma = 24.5 \text{ Mpa}$ .

## 9.2 INTERPRETACIÓN DE CUADROS

### Parámetros mecánicos de la roca intacta

Los datos ingresados en el presente modelo son:

**Cuadro N° 9.1: Parámetros de la roca intacta**

ESFUERZOS INSITU	
PROFUNDIDAD (m)	648
ESFUERZO VERTICAL (Mpa)	17.5
ESFUERZO HORIZONTAL (Mpa)	24.5
CONSTANTE K	1.40
PARAMETROS ELASTICOS DE LA ROCA	
MODULO DE YOUNG (Mpa)	44000
INDICE DE POISSON	0.25
TIPO ELASTICO	ISOTROPICO
PARAMETROS DE RESISTENCIA	
CRITERIO DE FALLA	HOEK Y BROWN GENERALIZADO
RESISTENCIA A LA COMP. UNIAXIAL	<b>160 Mpa.</b>
PARAMETRO mb	<b>4.238988</b>
PARAMETRO s	<b>0.015504</b>
PARAMETRO a	<b>0.501975</b>

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.



### Cuadro 9.1: Parámetros de la roca intacta

En el cuadro 9.1, se detalla datos importantes de la roca intacta para la determinación de los modelos geomecánicos; tales como: los esfuerzos insitu, parámetros elásticos de la roca y los parámetros de resistencia de la roca intacta.

### Cuadro 9.2: arenisca silicificada caja techo

Hoek-Brown Classification			
sigci	160	MPa	
GSI	65		
mi	17		
D	0.2		
Ei	4400		
MR	275		
Hoek-Brown Criterion			
mb	4.2389		
s	0.015503		
a	0.50197		
Failure Envelope			
Applicatio	Tunnels		
sig3max	8.4093	MPa	
Unit	0.02	MN/m <sup>3</sup>	
Tunnel	648	m	
Mohr-Coulomb Fit			
c	4.383	MPa	
phi	50.921	degrees	
Rock Mass Parameters			
sigt	-	MPa	
sigc	19.75	MPa	
sigcm	45.899	MPa	
Erm	22475.	MPa	

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**Cuadro 9.3: arenisca silicificada caja piso**

<b>Hoek-Brown Classification</b>			
	sigci	154	MPa
	GSI	60	
	mi	17	
	D	0.2	
	Ei	42350	
	MR	275	
<b>Hoek-Brown Criterion</b>			
	mb	3.4761	
	s	0.00854931	
	a	0.502841	
<b>Failure Envelope Range</b>			
	Application	Tunnels	
	sig3max	8.33073	MPa
	Unit Weight	0.026	MN/m <sup>3</sup>
	Tunnel Dept	648	m
<b>Mohr-Coulomb Fit</b>			
	c	3.77417	MPa
	phi	49.2754	degrees
<b>Rock Mass Parameters</b>			
	sigt	-0.378756	MPa
	sigc	14.0479	MPa
	sigcm	39.2494	MPa
	Erm	17321.7	MPa

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

Los cuadros 9.2 y 9.3, corresponden a las cajas techo y piso de arenisca silicificada respectivamente. Es el resultado del análisis del criterio de Hoek and Brown de donde se obtiene un conjunto de datos de la masa rocosa como: la cohesión (Mpa), el ángulo de fricción(°), parámetros de Hock and Brown (mi), etc. Que son informaciones, que se van a tener en cuenta para el modelamiento de los cuerpos entre el Nv 10 y Nv 8.

**Cuadro 9.4: características del relleno detrítico**

<b>Material: Relleno Detrítico *</b>		
Elastic Type	Isotropico	
Material type	Elastic	
Young's modulus	200	Mpa
Poisson's ratio	0.35	
<b>Mohr - Coulomb Criterion</b>		
Tensile Strength	0	Mpa
Peak friction angle	32	degrees
Peak cohesión	0.005	Mpa

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

El cuadro 9.4, muestra las características que tiene el relleno detrítico; que viene a ser un material elástico tipo isotrópico, con un módulo de Young de 200 MPa, ratio de Poisson de 0.35. En el criterio de Mohr Coulomb se tiene: el esfuerzo de tensión cero, el pico de de angulo de fricción 32° y el pico de la cohesión de 0.005 Mpa.

**Cuadro 9.5: características de la falla**

<b>Join Properties *</b>		
Normal stiffness	100000	Mpa/m
Shear stiffness	10000	Mpa/m
<b>Mohr - Coulomb Slip Criterion</b>		
Tensile Strength	0	Mpa
Friction angle	32	degrees
Cohesión	0.05	Mpa

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

En el cuadro 9.5, se considera las propiedades que presentan las fracturas, donde el esfuerzo normal ajustado es de 100000 MPa/m, el esfuerzo de corte ajustado es de 10000 MPa/m., los datos del criterio Mohr-Coulomb son: la fuerza de tensión 0 MPa, Angulo de fricción 32° y la cohesión de 0.05 MPa.

### **9.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

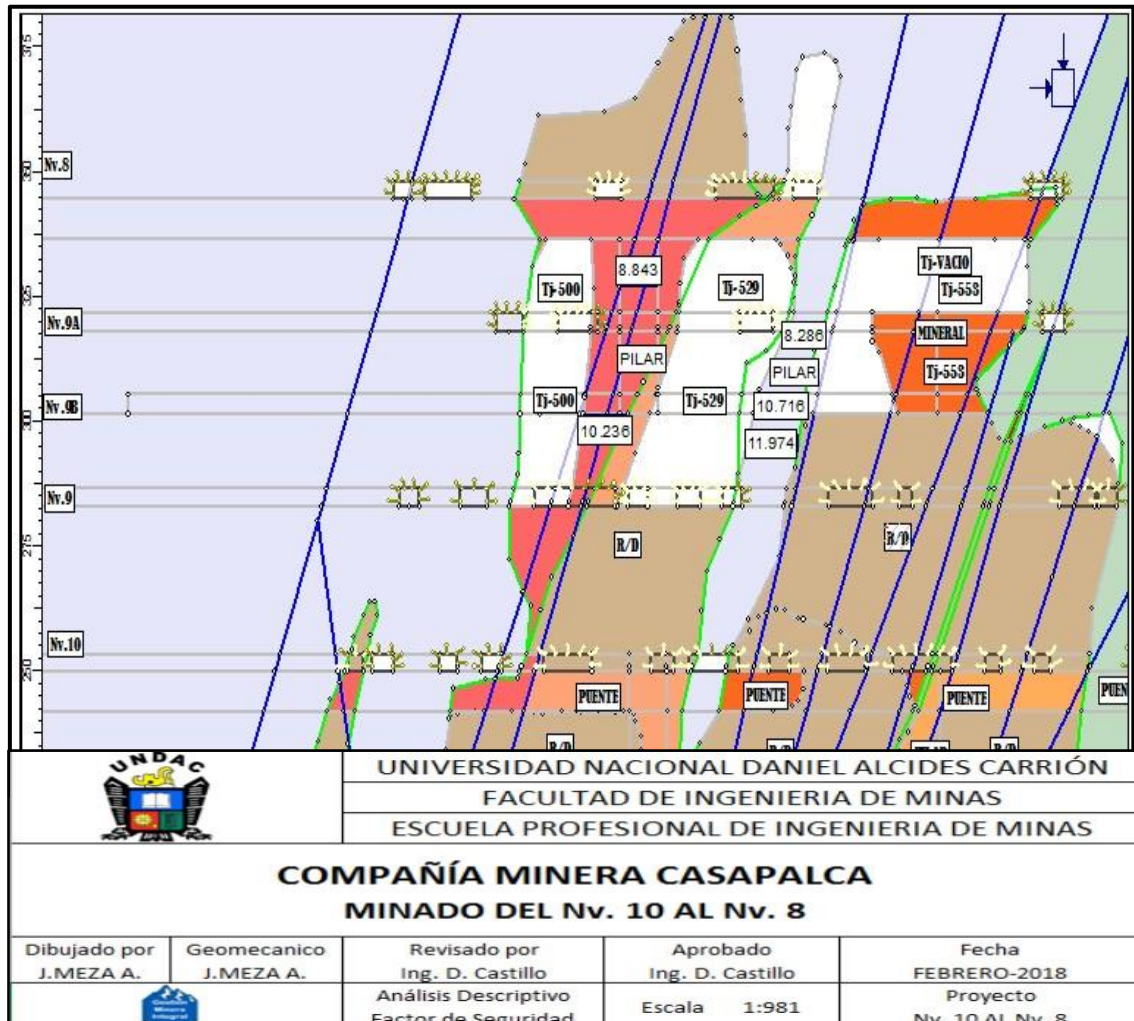
Los resultados del análisis de estabilidad estructuralmente controlado han indicado que hay formación de cuñas en los techos y paredes de las excavaciones. En el techo, las cuñas están formadas por sistemas de discontinuidades que tienen alto buzamiento, por lo que la relación altura/ base es alta, quitando posibilidad de que estas cuñas caigan y se deslicen por el efecto de empotramiento a la que están sujetas por los esfuerzos horizontales. En el caso de las paredes, las cuñas generadas por el arreglo estructural de la masa rocosa son estables.

Es recomendable que como parte del trabajo de rutina el personal de Geomecánica realice este tipo de análisis, de tal manera que puedan identificar cuñas potencialmente inestables y adoptar así las medidas de sostenimiento que el caso amerite.

**Minado actual: febrero 2018:** (Ver Plano N° 9.1)

- Se tiene Rellenado el Cpo. Chiara 3ra. Tj-443 del Nv. 11 al Nv. 10+15 m.; y el Cuerpo Esperanza Techo-Chiara Tj 504, del Nv. 11, Nv.11A al Nv. 10.
- Se tiene relleno el Cuerpo Esperanza (10) Tj-546, del Nv.11 al Nv.10; el Cuerpo Esperanza Piso Tj-550, del Nv.11 al Nv.10.
- Se tiene relleno el Cuerpo Esperanza Techo Tj-504, del Nv.10, al Nv.9 y el Cuerpo Esperanza (10) Tj-553 y Tj-546 norte y sur del Nv.10 hasta el Nv. 9B.
- Se tiene relleno el Cuerpo Esperanza Piso Tj-550, en el Nv.10, al Nv.9B y el Tj-504 vacío en el Nv.9 al puente Nv.8, cuerpo Chiara; y
- El Tj 529 vacío en el Nv.9 al puente Nv.8 el cuerpo Esperanza techo – Chiara; y el Tj 546 vacío en el Nv.9A al puente Nv.8, Cuerpo Esperanza.
- Se tiene el Tj 553 en proceso de explotación vacío en el Nv.9B al puente Nv.9A.

**Plano N° 9.1: Minado actual: febrero 2018**



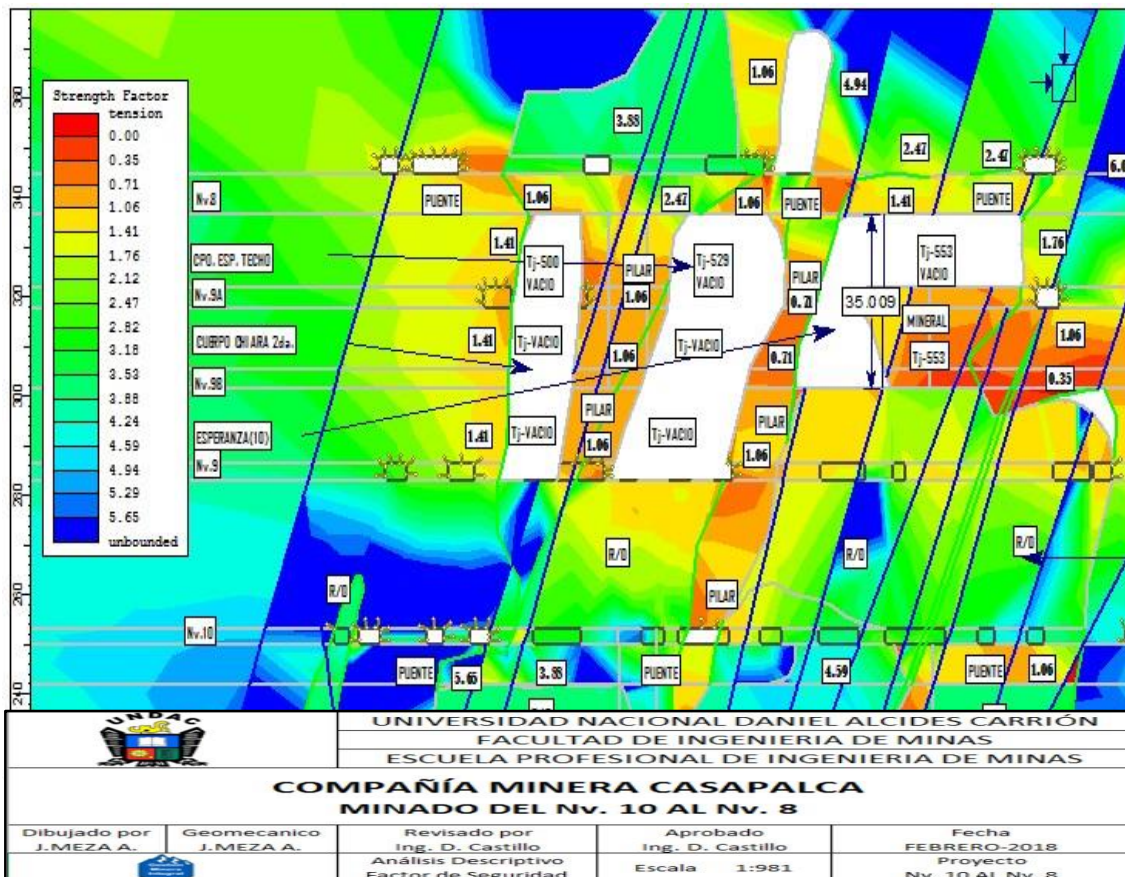
**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**Modelamiento:** Minado del Nv. 10 al Nv. 08 – Factor de Seguridad- (Plano N° 9.2)

En el estado actual para inicio del modelamiento se tiene el factor de seguridad (fs= 1.06 a 1.41) en el puente del Nv. 8 (8 m) y en el puente del Nv. 10 (8m) se tiene un factor seguridad F.S.= (1.06).

Debido al relleno de los tajos en el Nv.11 y Nv.10 los pilares del Nv.9 al puente del Nv.8 tienen un F.S.=(0.71 a 1.06) donde: el pilar del tajo 500 y 529 el F.S.=( $>1.06$ ) y en el pilar del tajo 529 al tajo 553 presenta F.S.=(0.71 a 1.06) los factores de seguridad se encuentran por debajo del equilibrio limite. que indica que se debe rellenar paralelo a la explotación del tajo 553; para evitar el descaje de los tajos y así evitar la inestabilidad en la zona de minado.

**Plano N°9.2: Modelamiento: Minado del Nv.10 al Nv. 08 - Factor de Seguridad**



**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**2do. Secuenciamiento de minado planteado del Nv.9b al Nv.8: con influencia de espacios abiertos: Ver Plano N° 9.3**

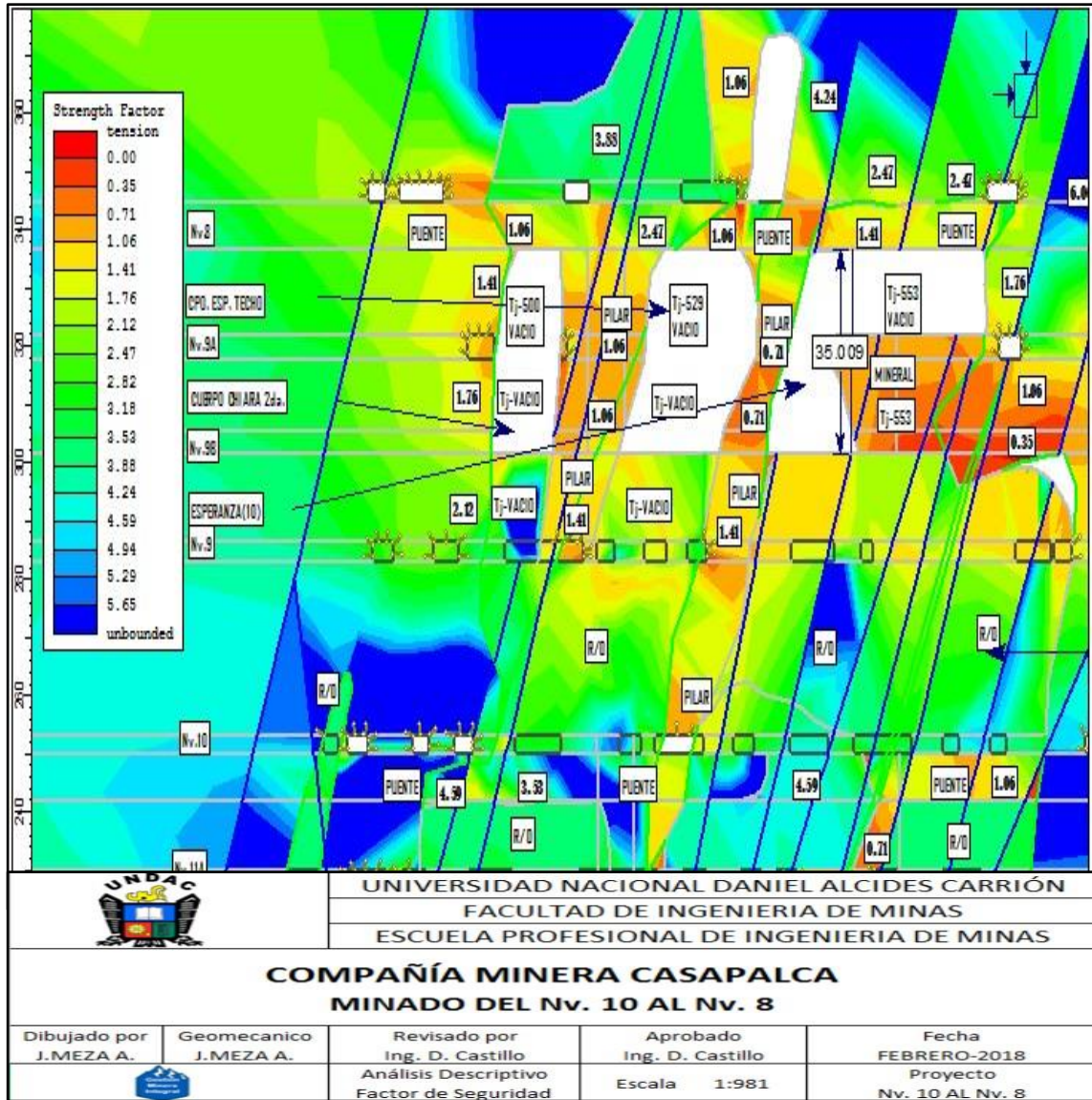
1. relleno del tj-500 y tj 529 del Nv. 9 al Nv. 9b.

Terminado la extracción del mineral del tj-500 y tj-529, Chiara 3ra y Esperanza techo del Nv. 9 al Nv. 9b. iniciar el relleno paralelo a la explotación del tajo 553. el entorno del minado presenta un F.S.=(1.06), en el equilibrio límite de estabilidad de los cuerpos esperanza chiara los factores de seguridad en el pilar indica pretensionamiento; considerar realizar voladura controlada.

**Plano N° 9.3: Secuenciamiento de minado planteado del Nv.9b al Nv.8: con influencia de espacios abiertos**



**Plano N° 9.3: Secuenciamiento de minado planteado del Nv.9b al Nv.8: con influencia de espacios abiertos**



**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

### **3ro. Voladura Taladros Positivos del tj-553 cuerpo Esperanza del Nv.9b**

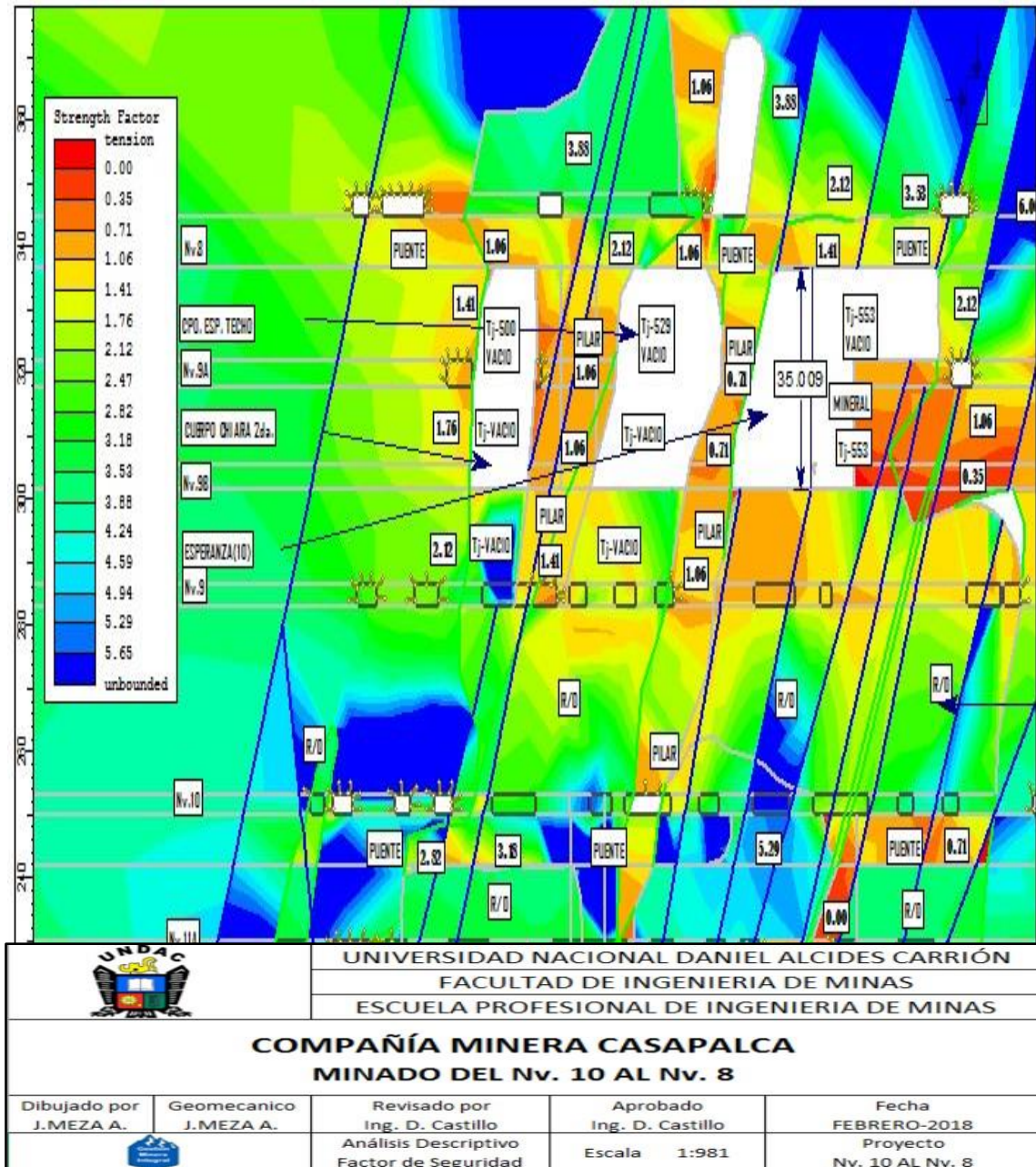
**a Nv9a:** Ver Plano 9.4

En el minado del tajo 553 del Nv.9b al 9a cuerpo speranza las aureolas de tension alrededor de los pilares del tajo muestra un factor de seguridad de f.s.= (0.71 a 1.06), debajo del equilibrio limite; por la redistribucion de esfuerzos de los pilares. indicando

que esta sobre tensionado por el espacio vacio del nv. 9b al nv. 8; y por el tiempo de exposicion del tajo esto puede comunicarse entre tajos y la posibilidad de colapsamiento.

**Plano N° 9.4: Voladura Taladros Positivos del tj-553 cuerpo Esperanza del  
Nv.9b a Nv9a**

**Plano N° 9.4: Voladura Taladros Positivos del tj-553 cuerpo Esperanza  
del Nv.9b a Nv9a**



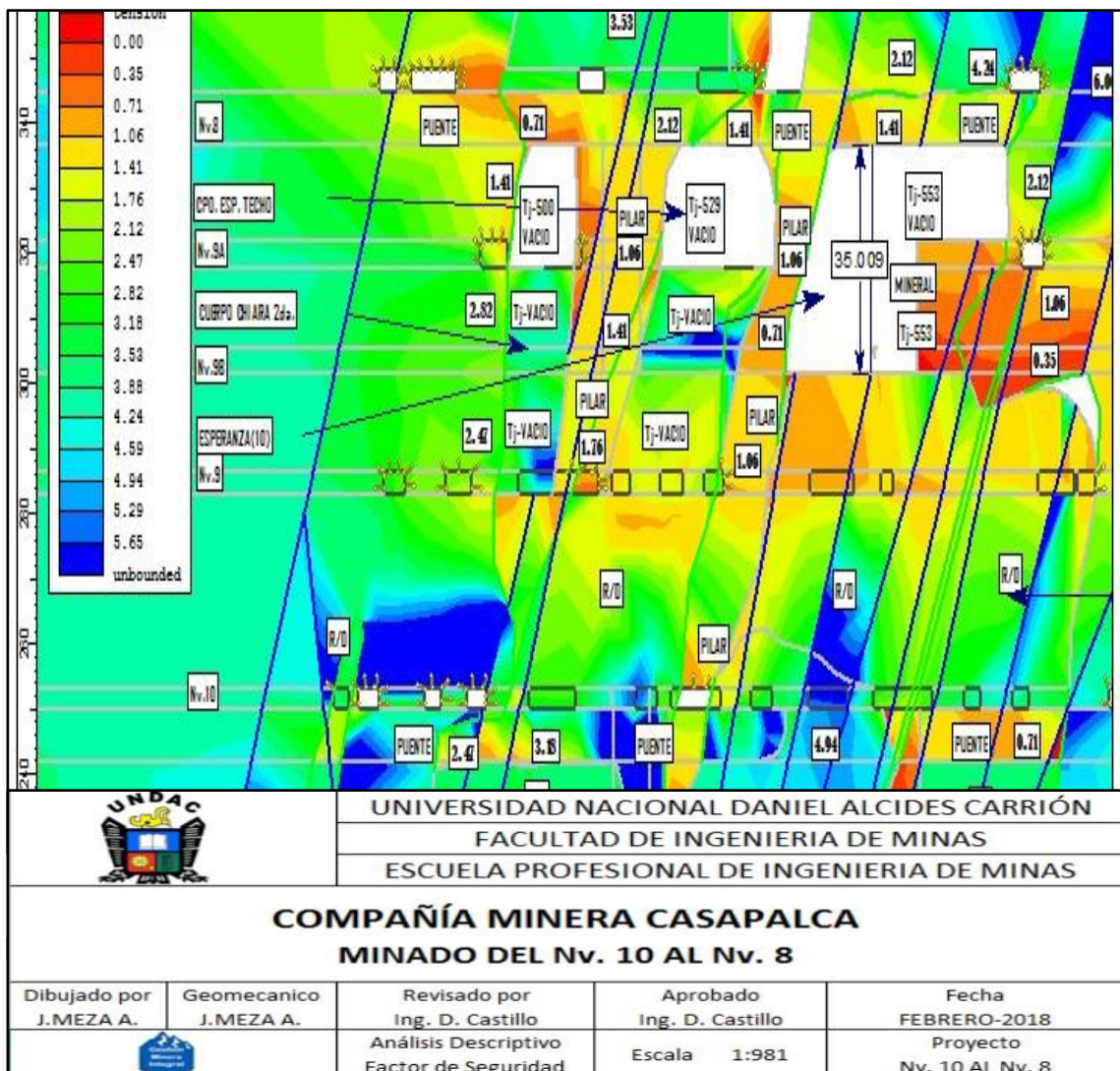
**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

#### 4to. RELLENANDO EL CUERPO ESPERANZA Tj-500 y Tj 529 DEL Nv. 9B

AL Nv.9A: R-2 : Ver Plano 9.5

En el proceso de minado del tj-553 paralelo se debe proceder al relleno de los espacios vacíos para mantener su f.s.=(1.06 a 1.41) en los pilares de los tajos vacíos; permitiendo continuar con nuestro secuencia miento de minado del cuerpo Esperanza.

#### Plano N° 9.5: RELLENO DEL CUERPO ESPERANZA Tj-500 y Tj 529 DEL Nv. 9B AL Nv.9 A

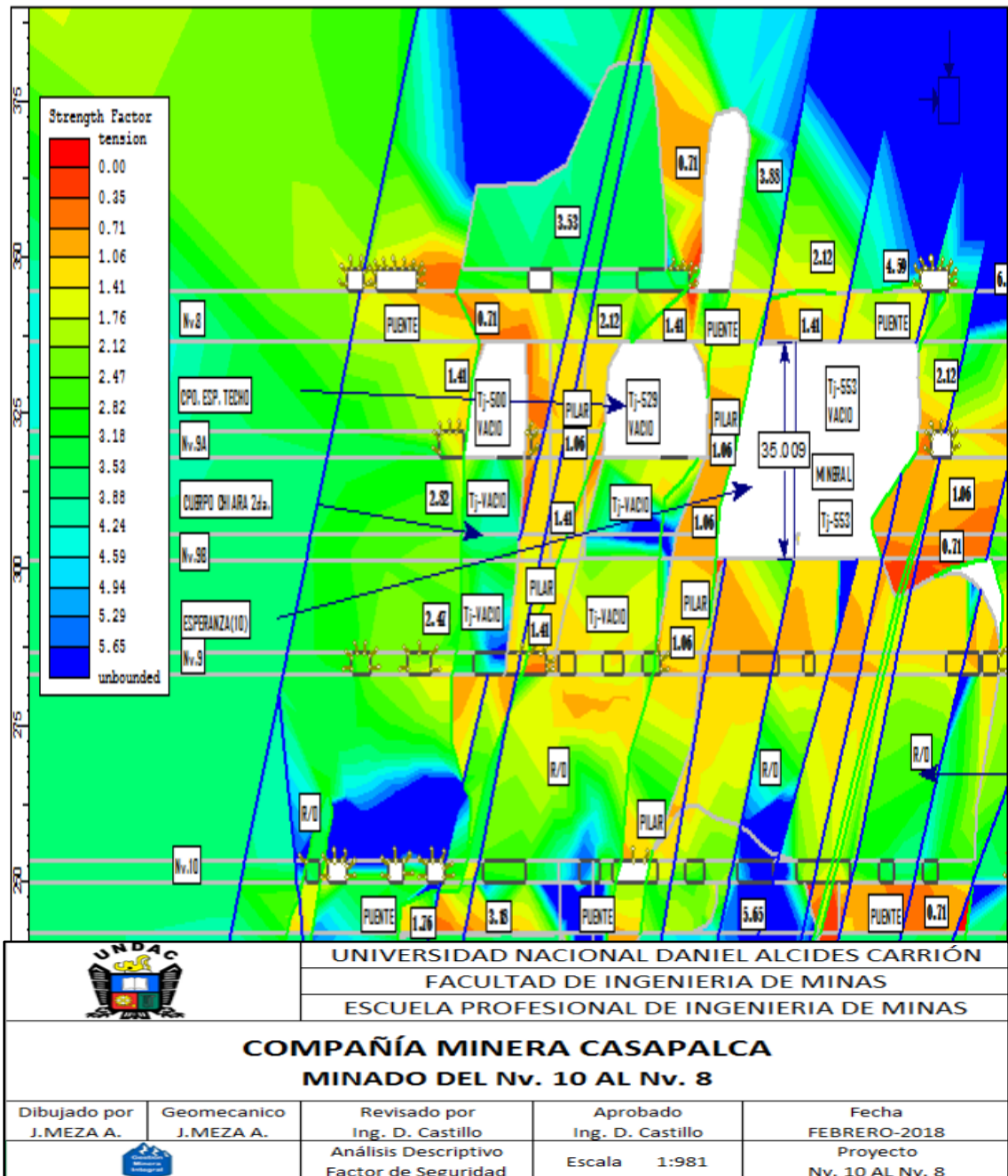


**5to. VOLADURA DE TALADROS POSITIVOS LARGOS DEL TJ-553 DEL Nv.9B AL Nv.9A: P/V1A: Ver Plano 9.6**

En la última fase de voladura del Tj-553 de los taladros positivos al Nv. 9a y sobre ello un tajo vacío de 15 mts. de altura al puente del nv.8; donde: los pilares mantienen los factores de seguridad F.S.= (1.06), estando pretensionado por el relleno y los espacios vacíos; indicando que por los espacios abiertos cabe la posibilidad de comunicación de tajos. por lo que es necesario dar velocidad de minado y rellenar de inmediato hasta el nivel 8.

**Plano N° 9.6: VOLADURA DE TALADROS POSITIVOS LARGOS DEL TJ-553 DEL Nv.9B AL Nv.9A**

**Plano N° 9.6: VOLADURA DE TALADROS POSITIVOS LARGOS DEL TJ-  
553 DEL Nv.9B AL Nv.9A**



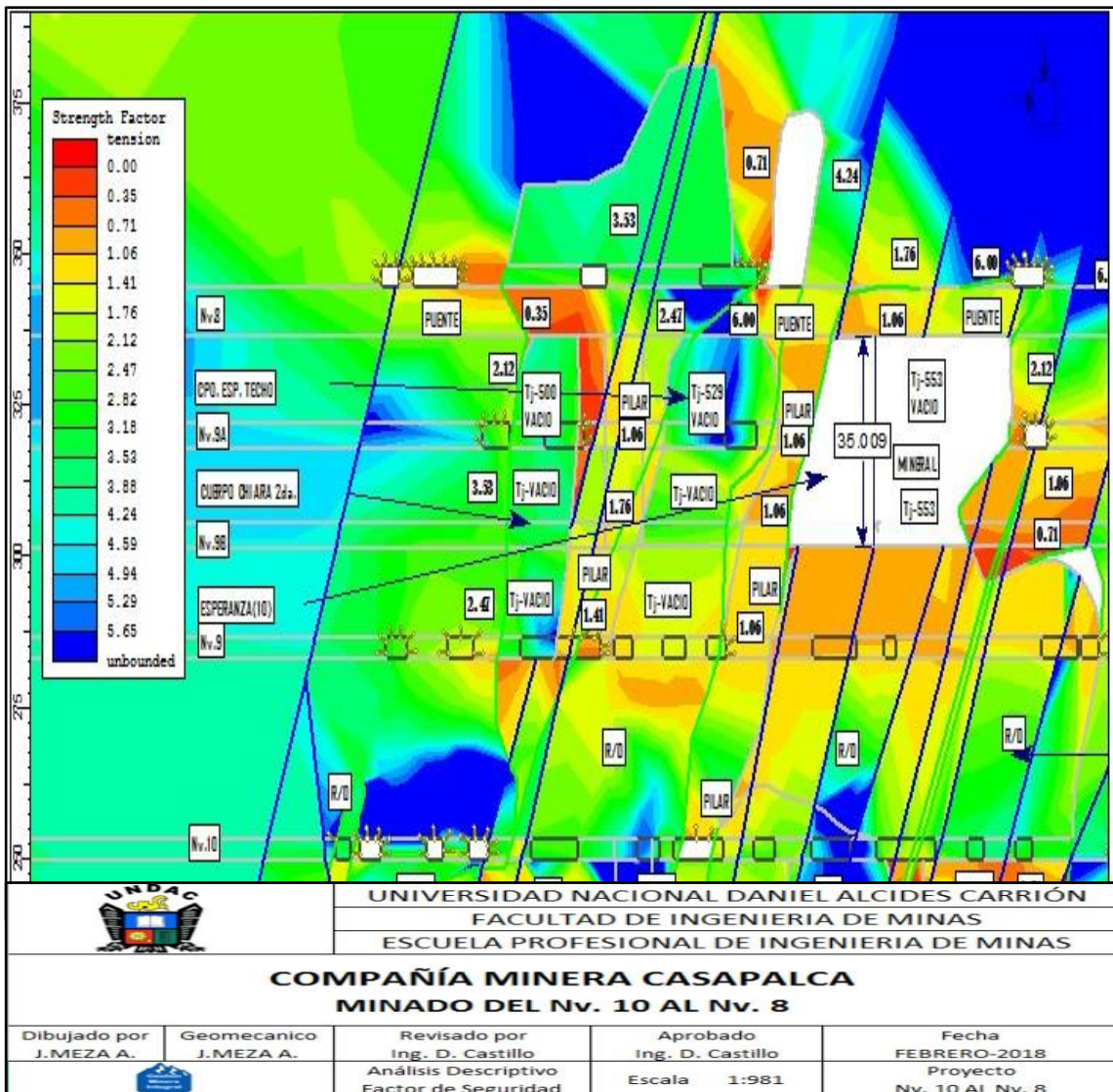
**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**6to. RELLENANDO LOS TJ-500, Tj-529 DEL Nv.9B AL Nv. 8: R-3.**

**Ver Plano 9.7**

La secuencia del minado el relleno del Tj-500 y Tj-529 del Nv.9a al puente del Nv. 8, el F.S.= (>1.06) indicando estabilidad de la zona. pero los esfuerzos alrededor del tajo 553 presentan aureolas de tension con un F.S.= (01.06); esto por tener espacio abierto desde el Nv.9b al puente del Nv. 8 de 35 mts; por lo que es necesario dar velocidad al minado para evitar subciedades en la zona.

**Plano N° 9.7: RELLENANDO LOS TJ-500, Tj-529 DEL Nv.9B AL Nv. 8: R-3**

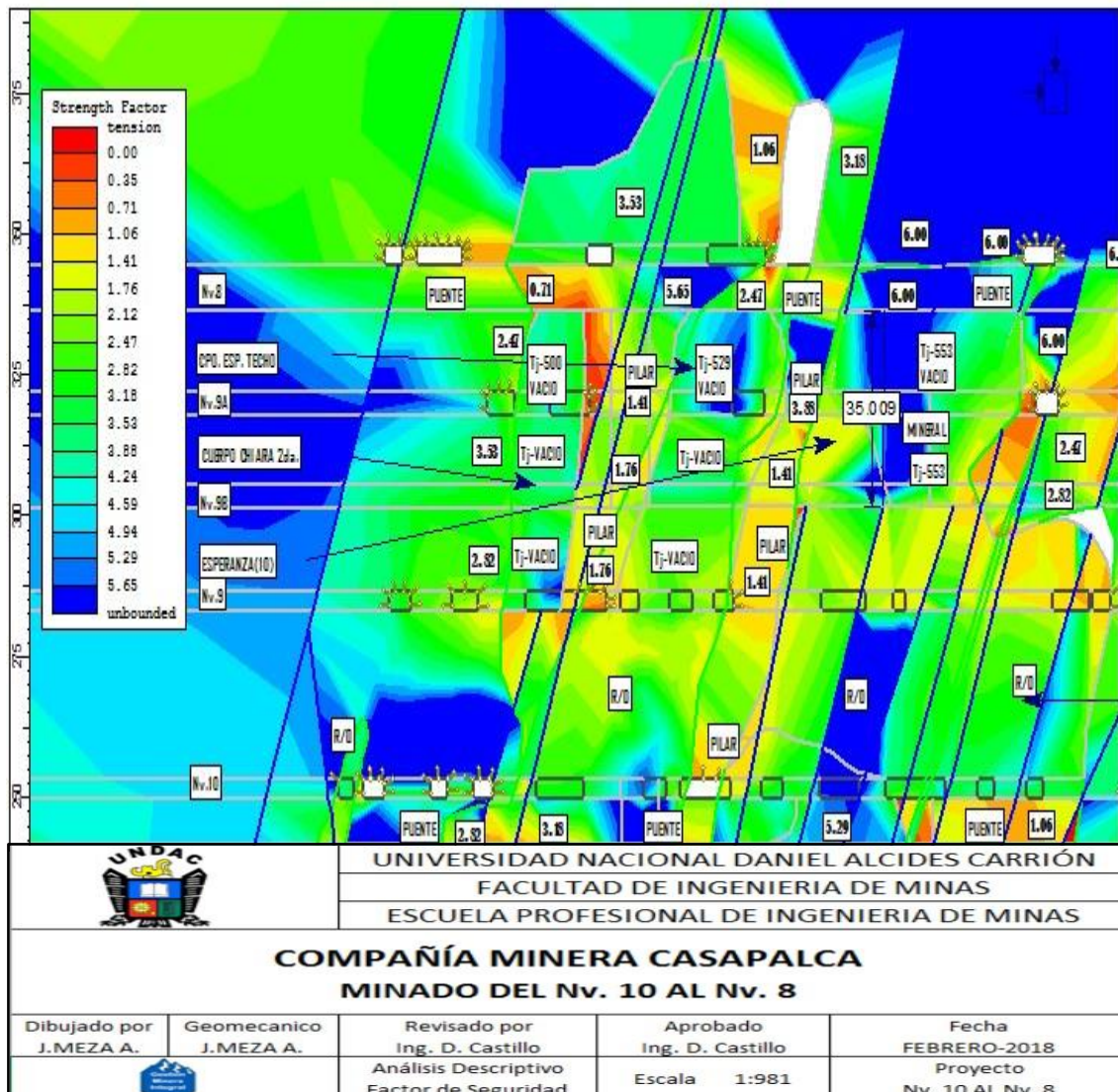


## 7mo. RELLENANDO LOS Tj-553 DEL Nv. 9B AL PUENTE DEL Nv.8:

### Ver Plano N° 9.8

Terminada la explotación del tajo 553; es necesario rellenar los tajos 553, del Nv. 9b al Nv. 8 de la zona intermedia, para mejorar la estabilidad de la zona y así minimizar su radio de influencia, la aureolas de tensión generadas en este proceso generan estado de redistribución de tensión en el macizo rocoso que los circunda  $F.S. (>1.41)$  para rellenar debemos considerar los tapones de concreto armado.

### Plano N° 9.8: RELLENANDO LOS Tj-553 DEL Nv. 9B AL PUENTE DEL Nv.8





## **9.4 PRUEBA DE HIPÓTESIS**

Para realizar la prueba de hipótesis en un estudio de investigación, es necesario considerar, la hipótesis planteada y su relación con las variables planteadas, y mediante estos datos que se han obtenido se determina la prueba de hipótesis.

### **Hipótesis general:**

“La evaluación geomecánica de la masa rocosa influye en el modelamiento de cuerpos mineralizados entre el nivel 10 al nivel 8  
Compañía Minera Casapalca S.A.”

Cuyas variables son:

### **Variable Independiente**

Evaluación geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Casapalca S.A.

Para la evaluación de la masa rocosa de la Mina Casapalca, se registraron datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas. Los parámetros tomados en cuenta fueron: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la

resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento. En base a los resultados obtenidos de los cuadros N° 9.6, N° 9.7 y otros detallados en el capítulo 7 y 8, se realizan los gráficos del modelamiento. Asimismo, esta forma de evaluación coincide con el estudio de tesis Pantaleón Junco, Hernán y Carbajal Isidro, Christian (2017), en su estudio de tesis: “Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea”; que, para llevar a cabo dicha evaluación, ha sido necesario ejecutar una serie de investigaciones geotécnicas correspondiente al reconocimiento geológico y estructural, mapeo geomecánico, logeo geomecánico, que permitieron caracterizar el macizo rocoso y establecer un modelo geomecánico.

**Cuadro No. 9.6: Tipos de roca y valores geomecánicos**

Tipo de roca	RMR	$\sigma_c$ MPa	$\gamma$	H (m)	“m”	m	S	Emr MPa	Poisson $\nu$
<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

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

**Cuadro No.9.7: Esfuerzos Insitu y parámetros**

<b>ESFUERZOS INSITU</b>	
PROFUNDIDAD (m)	648
ESFUERZO VERTICAL (Mpa)	17.5
ESFUERZO HORIZONTAL (Mpa)	24.5
CONSTANTE K	1.40
<b>PARAMETROS ELASTICOS DE LA ROCA</b>	
MODULO DE YOUNG (Mpa)	44000
INDICE DE POISSON	0.25
TIPO ELASTICO	ISOTROPICO
<b>PARAMETROS DE RESISTENCIA</b>	
CRITERIO DE FALLA	HOEK Y BROWN GENERALIZADO
RESISTENCIA A LA COMP. UNIAXIAL	<b>160 Mpa.</b>
PARAMETRO mb	<b>4.238988</b>
PARAMETRO s	<b>0.015504</b>
PARAMETRO a	<b>0.501975</b>

**Fuente:** Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.

### **Dependiente**

Modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.

Para determinar el grado de estabilidad de estas excavaciones comprendidos del nivel 10 al nivel 8, se han realizan modelamientos numéricos de esfuerzo/deformación utilizando el método de elementos finitos mediante el programa Phase 2 descrito en el Marco Teórico de la presente tesis. Asimismo, este tipo de análisis coincide con el estudio de tesis de Mercado Salas Gerald E. (2017), "Modelamiento geomecánico a nivel de prefactibilidad de una mina subterránea", donde la calidad de la

masa rocosa se determina por el RMR y también el uso del software DIPS, phase 2 perteneciente a Rocscience.

Se presentan dos tipos de modelamientos, el primero, simulando que todas las excavaciones quedan vacías al final de la explotación, y el segundo, simulando el relleno de cavidades claves para mantener condiciones adecuadas de estabilidad de las excavaciones en su conjunto, a nivel local y global. Estas últimas simulaciones constituyen la solución al problema de establecer adecuados esquemas y secuencias de avance para el minado. Cuya presentación en gráficos se detalla en el capítulo 8 del presente estudio de tesis.

#### **9.4.1 Hipótesis Específicos**

- ✓ **A través de la evaluación geomecánica, se caracteriza la masa rocosa en relación a los cuerpos mineralizados entre el nivel 10 y nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.**

Los parámetros considerados para la caracterización son: tipo de roca, tipo de sistema de discontinuidad, orientación, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno, espesor del relleno, intemperización y presencia de agua. Adicionalmente se registraron datos sobre la resistencia de la roca y la frecuencia de fracturamiento; a partir de ello se

determinó la evaluación de la masa rocosa del área, que está entre los Tipos IIIA y II (RMR 55 - 65), es decir se encuentra en el rango superior de las rocas de calidad Regular A y en el rango inferior de rocas de calidad Buena. Localmente hay presencia de rocas de calidad Regular B (IIIB - RMR 41-50) en el rango superior, y en algunos sitios muy puntuales, las rocas son de calidad Mala A (IVA – RMR 31-40).

- ✓ **Mediante el análisis del modelamiento de los cuerpos mineralizados, se determinan los factores de seguridad en relación a la estabilidad.**

En el inicio del modelamiento se tiene el factor de seguridad (FS= 1.06 a 1.41) en el puente del Nv. 8 (8 m) y en el puente del Nv. 10 (8m) se tiene un factor seguridad F.S.= (1.06), debido al relleno de los tajos en el Nv.11 y Nv.10 los pilares del Nv.9 al puente del Nv.8 tienen un F.S.=(0.71 a 1.06) donde: el pilar del tajo 500 y 529 el F.S.=( $>1.06$ ) y en el pilar del tajo 529 al tajo 553 presenta F.S.=(0.71 a 1.06) los factores de seguridad se encuentran por debajo del equilibrio limite. Lo que indica que se debe rellenar paralelo a la explotación del tajo 553; para evitar el descaje de los tajos y evitar la inestabilidad en la zona de minado.

Terminado la extracción del mineral del tj-500 y tj-529, Chiara 3ra y Esperanza techo del Nv. 9 al Nv. 9b. se inicia el relleno paralelo a la explotación del tajo 553 el entorno del minado presenta un F.S.=(1.06), en el equilibrio límite de estabilidad de los cuerpos esperanza Chiara los factores de seguridad en el pilar indica pretensionamiento; entonces se considera realizar voladura controlada.

En el proceso de minado del Tj-553 paralelo se debe proceder al relleno de los espacios vacíos para mantener su F.S.=(1.06 a 1.41) en los pilares de los tajos vacíos; permitiendo continuar con nuestra secuencia miento de minado del cuerpo Esperanza.

## **9.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Para el Análisis del Estudio de Minado del Nv. 8 al Nv. 10 de Cuerpos Esperanza, Esperanza Techo, Esperanza Piso y Chiara de la zona intermedia, se realizó el análisis y simulación con elementos finitos utilizando el software (PHASES) con esquemas y secuencias de avance más adecuados en forma local, global y de las condiciones de estabilidad para una mejor recuperación del mineral en forma segura, teniendo en cuenta el secuencia miento de minado propuesto por el área de planeamiento y en función a los parámetros geomecánicos predominantes de la zona; con la finalidad de determinar los

Factores de Seguridad que nos permite visualizar el grado de estabilidad de las excavaciones subterráneas.

En el estado actual para inicio del modelamiento, se tiene el factor de seguridad (FS=1.06 a 1.41). En los pilares del Nv.9 al puente del Nv.8 se tiene un F.S.= (0.71 a 1.26): Donde la parte rellena, se encuentra por encima del equilibrio limite; pero la No rellena presenta factores de seguridad que se encuentran por debajo del equilibrio limite, esto indica que se debe rellenar en paralelo para asegurar la estabilidad del tajo, antes de iniciar la explotación del Tajo 553, para evitar el descaje de los tajos y así evitar la inestabilidad en la zona de minado.

El secuenciamiento de minado planteado del Nv.9B al Nv.8: con influencia de espacios abiertos, con el relleno del Tj-500 y Tj-529, Chiara 3ra y Esperanza Techo del Nv. 9 Nv. 9B; se debe continuar con el minado, en la última fase de voladura del tajo al puente del Nv. 8, donde los pilares mantienen F.S. = (0.71 a 1.06), estando pretensionado por el relleno y los espacios vacíos. Por lo que es necesario dar velocidad al minado y rellenar de inmediato hasta el nivel 8 de la zona intermedia; para mejorar la estabilidad de la zona y así minimizar su radio de influencia de las aureolas de tensión generadas por el minado.



## CONCLUSIONES

1. En la región del distrito Minero de Casapalca se encuentran presentes rocas sedimentarias y volcánicas desde el Cretáceo Inferior hasta el Terciario agrupadas en diferentes unidades litológicas. Las rocas que contienen la mineralización están formadas 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".
2. El arreglo estructural de la masa rocosa en el área de evaluación, está conformada por tres sistemas típicos de discontinuidades: Sistemas 1, 2 y 3, con rumbo y buzamiento respectivamente de  $N12^{\circ}W - 74^{\circ}SW$ ,  $N82^{\circ}E - 76^{\circ}SE$  y  $N20^{\circ}W - 6^{\circ}NE$ . Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas. El sistema principal de fallas en esta área de evaluación tiene rumbo de NE a NNE y buzamientos moderados a altos hacia el NW.
4. Como la masa rocosa involucrada con los Cuerpos Esperanza y Chiara es mayormente de calidad Regular A (IIIA) a Buena (II), entonces estas rocas conforman el dominio estructural principal. Esta información fue contrastada con la zonificación geomecánica elaborada por el Departamento de Geomecánica de Mina Casapalca, habiendo un buen

grado de concordancia

5. Los parámetros de resistencia de la roca intacta, de las discontinuidades y de la masa rocosa, fueron determinados a partir de ensayos realizados en campo y en laboratorio y a partir de la utilización de criterios de falla apropiados. Estas propiedades mayormente corresponden a rocas competentes.
6. En el área de evaluación no es muy significativa la presencia de agua subterránea, lo que se ha observado 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.
7. Para el Análisis del Estudio de Minado del Nv. 8 al Nv. 10 de Cuerpos Esperanza, Esperanza Techo, Esperanza Piso y Chiara de la zona intermedia, se realizó el análisis y simulación con elementos finitos utilizando el software (PHASES).
8. En el estado actual para inicio del modelamiento, se tiene el factor de seguridad ( $FS=1.06$  a  $1.41$ ). En los pilares del Nv.9 al puente del Nv.8 se tiene un  $F.S.= (0.71$  a  $1.26)$ : Donde la parte rellenada, se encuentra por encima del equilibrio limite.

8. Se han realizado una serie de análisis, cuyos resultados son presentados en los capítulo 7 y 8. Toda esta información ha sido utilizada para proponer modelamiento del minado adecuadas para un mejor control de la estabilidad de las excavaciones asociadas al minado de los Cuerpos Esperanza y Chiara.
9. En el secuenciamiento de minado planteado del Nv.9B al Nv.8, en emplea la voladura taladros positivos del Tj-553 Cuerpo Esperanza y el entorno del minado presenta un F.S.= (1.06 A 1.41), equilibrio límite de estabilidad, por la redistribución de esfuerzos de los pilares y en el puente hacia el nivel 8; indicando que esta sobre tensionado por el relleno y los espacios vacíos.
10. Finalmente, se presentan dos tipos de modelamientos, el primero, simulando que todas las excavaciones quedan vacías al final de la explotación, y el segundo, simulando el relleno de cavidades claves para mantener condiciones adecuadas de estabilidad de las excavaciones en su conjunto, a nivel local y global.

## RECOMENDACIONES

1. Los resultados del análisis de estabilidad estructuralmente controlado han indicado que hay formación de cuñas en los techos y paredes de las excavaciones. Si bien estas cuñas son estables, sin embargo, es recomendable que como parte del trabajo de rutina el personal de Geomecánica realice este tipo de análisis, de tal manera que puedan identificar cuñas potencialmente inestables y adoptar así las medidas de sostenimiento que el caso amerite.
2. Las soluciones a las que se ha llegado en los modelamientos numéricos, involucran el uso del relleno de las cavidades como estrategia para el manejo del control de la estabilidad de las labores mineras. Este relleno sería solamente parcial y en cavidades claves para lograr condiciones de estabilidad satisfactorias. Por tanto es recomendable que en el Planeamiento y Diseño del minado se contemple esta variable minera.
3. Para mejorar la estabilidad de la zona los accesos a los tajos deben ser sostenidos de acuerdo a la recomendación geomecánica, y así mismo asegurar la estabilidad del tajo con el relleno establecido para los tajos 500 y 529 del mismo nivel, por el dimensionamiento a que está expuesto y

por el tiempo de exposición que van a tener estos tajo.

4. La voladura de taladros largos debe ser controlada a fin de garantizar la estabilidad del tajo, se debe realizar estudio de vibraciones; para el control del banqueo, y evitar la sobre excavación y tener la distancia de envolvente de daño para no complicar a las labores aledañas así mismo se debe continuar el estudio geomecánico en el análisis permanente de la estabilidad del tajo en el ciclo de minado.
  
5. El secuenciamiento de minado planteado del Nv.9B al Nv.8: con influencia de espacios abiertos, con el relleno del Tj-500 y Tj-529, Chiara 3ra y Esperanza Techo del Nv. 9 Nv. 9B; se debe continuar con el minado, en la última fase de voladura del tajo al puente del Nv. 8, donde los pilares mantienen F.S. = (0.71 a 1.06),

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Alviña, Nicolás. (2008). *Análisis numérico del comportamiento dinámico de túneles ante eventos sísmicos, caso de estallidos de roca en el Teniente. Tesis de grado en la pontificadad universidad catolica de chile. Pag. Nro.42*
2. Brady, H & Brownin.(1985) *Rock Mechanincs*. George Allen & Unwin Ltd.
3. Bieniawski Z. (1989). *Engineering Rock Mass Clasification* Wiley – Interscience Publications.
4. Cordova, David. (2010). *Análisis de Esfuerzos y Deformaciones*. Revista Minera Pag.9.
5. Cuadros, Gabriel. (2015). *Evaluación geomecánica para el cambio de método de open stoping a corte y relleno ascendente convencional en la Veta Atahualpa-Lola de la Mina Poderosa. Universidad Nacional de san cristobal de Huamanga*. Tesis de grado.
6. Gavilanes, J. Byron, Andrade . (2004). *Introducción a la Ingeniería de Túneles: Clasificación y Análisis Geomecánico de Macizos Rocosos. Asociación de Ingenieros de Minas del Ecuador*.
7. Hoek E.& Bray J. (1981). *Rock slope engineering*. The Institution of Mining and Metallurgy London, 1981.
8. Hustrulid, W. and Bullock R.(2001). *Underground Mining Methods: Fundamentals and International Case Studies* SME.

9. Mercado, Gerald. (2017). *Modelamiento geomecánico a nivel de prefactibilidad de una mina subterránea. Tesis de grado en la Pontificada Universidad Católica del Perú.*
10. Meza, John. (2016). *Evaluación geomecánica con aplicación del software rock support en la disminución de longitud de pernos helicoidales Compañía Minera Aurífera Retamas S.A. Tesis de grado.*
11. Pantaleón, Hernán y Carbajal, Christian (2017). *Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea. Pontificada universidad católica del Perú. Tesis de grado.*
12. Rocscience. (1998 -2004). *Rocscience – Geomechanics Software & Research.* Manuales de los programas de cómputo utilizados.
13. Rodríguez, José. Morales, Dante (2014). *Evaluación de la Estabilidad de Taludes en la Mina Lourdes. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tesis de grado.*
14. Vivar, Aquiles. (2012). *Geomecanica. Cia. Minera Milpo S.A. “Aplicaciones de la Geomecanica en el Porvenir”.* Exposición Jueves Minero UNDAC.
15. Volcan Compañía Minera S.A.A. (2008). *Exposición del Area de Exploraciones Geológicas”* Presentación.
16. Potvin, Y. 1988. Empirical open stope design in Canada. PhD., thesis, *Dept. Mining and Mineral Processing, University of British Columbia.*

17. Nickson, S.D. 1992. Cable support guidelines for underground hard rock mine operations, MSc, thesis, *Dept. Mining and Mineral Processing, University of British Columbia.*
18. Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics.*



**ANEXO**

## **ANEXO 1**

### **MATRIZ DE CONSISTENCIA:**

**“EVALUACION GEOMECÁNICA DE LA MASA ROCOSA EN EL ANALISIS DEL MODELAMIENTO DE CUERPOS MINERALIZADOS DEL NIVEL 10 AL NIVEL 8 COMPAÑÍA MINERA CASAPALCA”**

PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACION	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MODALIDAD DE OBTENCION DE DATOS	FUENTE DE INFORMACION
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo la evaluación geomecánica del macizo rocoso contribuye en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.?”</p> <p><b>Problemas específicos</b> •¿Cómo evaluar la masa rocosa circundante a los cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Minera Casapalca S.A.? •¿Cómo analizar el modelamiento de las labores ubicados entre el nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Evaluar la masa rocosa en el análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados ubicados entre el nivel 10 y nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> • Evaluar la masa rocosa circundante a los cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 Minera Casapalca S.A. . •Analizar el modelamiento de las labores ubicados entre el nivel 10 al nivel 8 Compañía Minera Casapalca S.A.?.</p>	<p>El presente trabajo de investigación tiene como base la importancia de un estudio geomecánico en la Mina Casapalca S.A., con el fin de evaluar la masa rocosa para realizar el modelamiento y continuar la explotación de la mina en forma segura y económica; Con el tiempo crecen las labores mineras y el minado se realiza a mayores profundidades, como es el caso de la mina Casapalca, desarrollándose así diferentes problemas de inestabilidad en la roca.</p>	<p><b>Hipótesis general</b> La evaluación geomecánica de la masa rocosa influye en el modelamiento de cuerpos mineralizados entre el nivel 10 y nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p><b>Hipótesis Especifico</b> •A través de la evaluación geomecánica, se caracteriza la masa rocosa en relación a los cuerpos mineralizados entre el nivel 10 y nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p>•Mediante el análisis del modelamiento de los cuerpos mineralizados, se determinan los factores de seguridad en relación a la estabilidad.</p>	<p><b>V. Indep. :</b> Evaluación geomecánica de la masa rocosa en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p> <p><b>V. Depend. :</b> Análisis del modelamiento de cuerpos mineralizados del nivel 10 al nivel 8 en la Compañía Minera Casapalca S.A.</p>	<p><b>De la V. Indep.</b> - Índices geomecánicos. - Caracterización de la masa rocosa. - Discontinuidades de la masa rocosa. - Propiedades de las discontinuidades.</p> <p><b>De la V. Depend.</b> - Modelamiento geomecánico. - Modelamiento geológico. - Modelamiento numérico. - Software Science</p>	<p><b>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</b> Se efectúan trabajos de campo; revisión y análisis de la información disponible, levantamiento topográfico, reconocimiento geológico, toma de muestras para ensayos de laboratorio, etc.</p> <p><b>Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos</b> 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.</p>	<p><b>Fuente de información:</b> Trabajo de tesis relacionado al tema Libros de geomecánica y mecánica de rocas. Informes técnicos: - Oficina mina - Oficina geología - Oficina de Seguridad - Oficina de Geotécnica</p> <p>Trabajos de geomecánica realizados en mina.</p>

## ANEXO 2

### PROCEDIMIENTO DE MAPEO GEOMECÁNICO

1. Equipo de protección personal completo.
2. herramientas para el mapeo geomecánico:
  - Tabla geomecánica. (Presenta 04 partes descritas)
  - Flexómetro.
  - Picota o barretilla de seguridad 4' o 6'.
  - Pintura.
3. Tener la orden de trabajo y al llegar a la labor realizar el ABC minero y rellenar check list, IPERC y herramientas de mapeo.
4. Marcado del hastial de 1 metro lineal de la zona a mapear.
5. Seleccionar la tabla 1 o 2 (de desarrollo o explotación).
6. Evaluar la condición estructural: Contar el número de fractura y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde.
7. Evaluar la condición de resistencia: Con los golpes de picota y ubicar en la tabla geomecánica a donde corresponde.
8. En el cuadro de las características del macizo rocoso, realizar la intersección e Identificar la calidad de roca (GSI).
9. Considerar los factores influyentes existentes en caso existe.
10. Identificado el tipo de roca indicar el tipo de sostenimiento a realizar en la labor.
11. En lo posible dejar marcado la calidad de roca en la labor evaluado.

## **ANEXO 3**

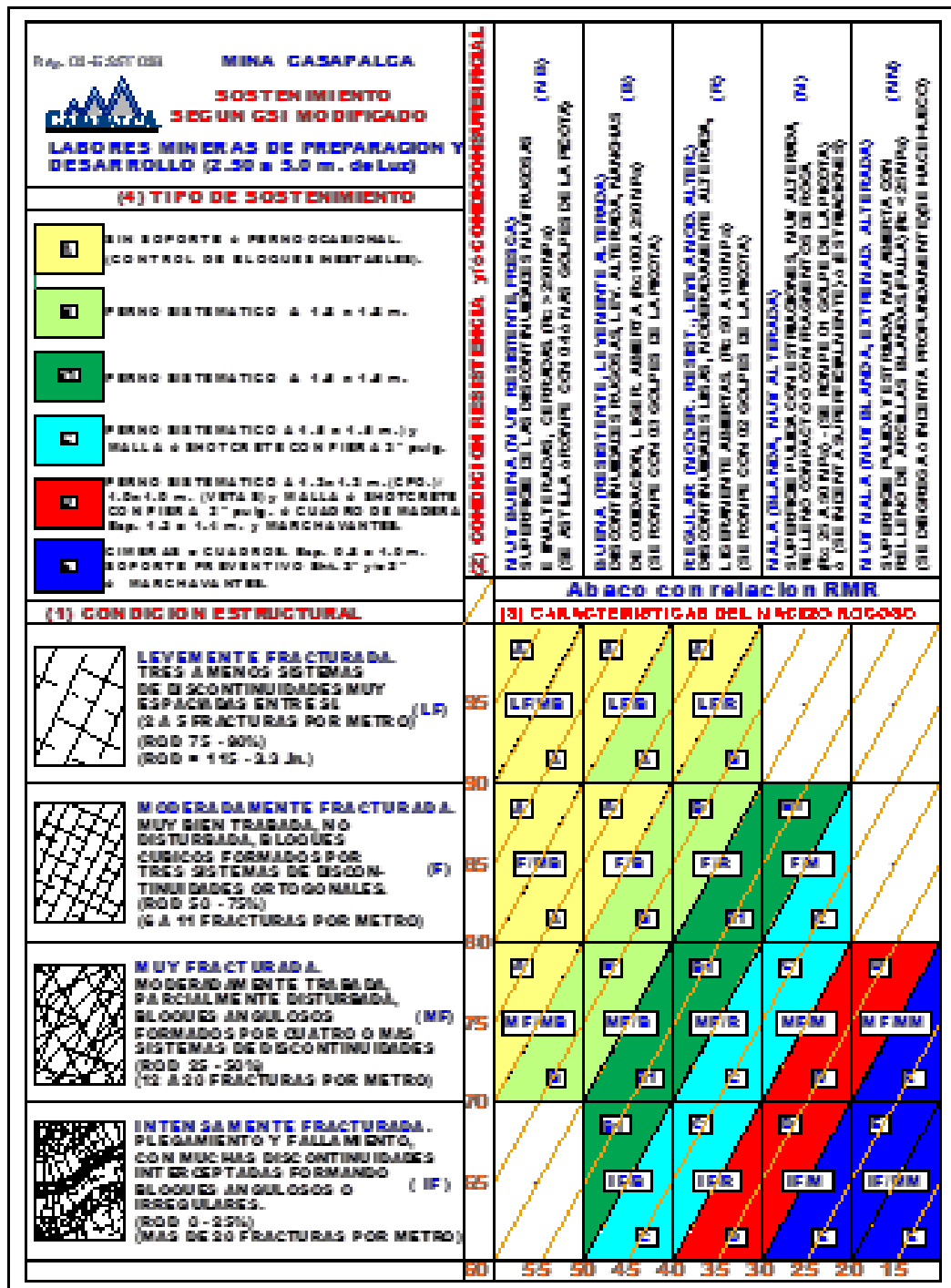
### **MEDIDAS PREVENTIVAS Y CONTROL DEL MACIZO ROCOSO**

- **La primera medida preventiva es el uso de “voladura controlada” en especial en las galerías, cruceros, rampas, ventanas, bóvedas y otros para lo cual se deberá de disminuir el espaciamiento de los taladros y distribuir mejor su carga, así mismo, evitar concentraciones de vibraciones que originen micro fracturas en paredes, techo y frente de la labor.**
- **Ejecución del mapeo geomecánico luego del desate y colocación de soporte de acuerdo al tipo recomendado por la tabla geomecánica. El sostenimiento debe ser colocado antes de continuar con el avance de las labores; tener siempre en cuenta la premisa de “Metro avanzado, metro sostenido”.**
- **Revisar y cumplir en forma estricta con el Estándar y PETS de colocación de los diferentes elementos de soporte que se apliquen en la mina.**
- **Efectuar ensayos de arranque en los pernos colocados, limpieza y reparación de mallas rellenas con fragmentos, reemplazar los pernos mal colocados o sueltos y los tramos con shotcrete deteriorado.**

- **Capacitación permanente del personal de operaciones (jefe de guardia, capataces, perforistas y ayudantes) en la aplicación de la tabla geomecánica y colocación de sostenimiento.**
- **Compromiso de la Gerencia General y de Operaciones con la aplicación correcta y oportuna de esta actividad.**

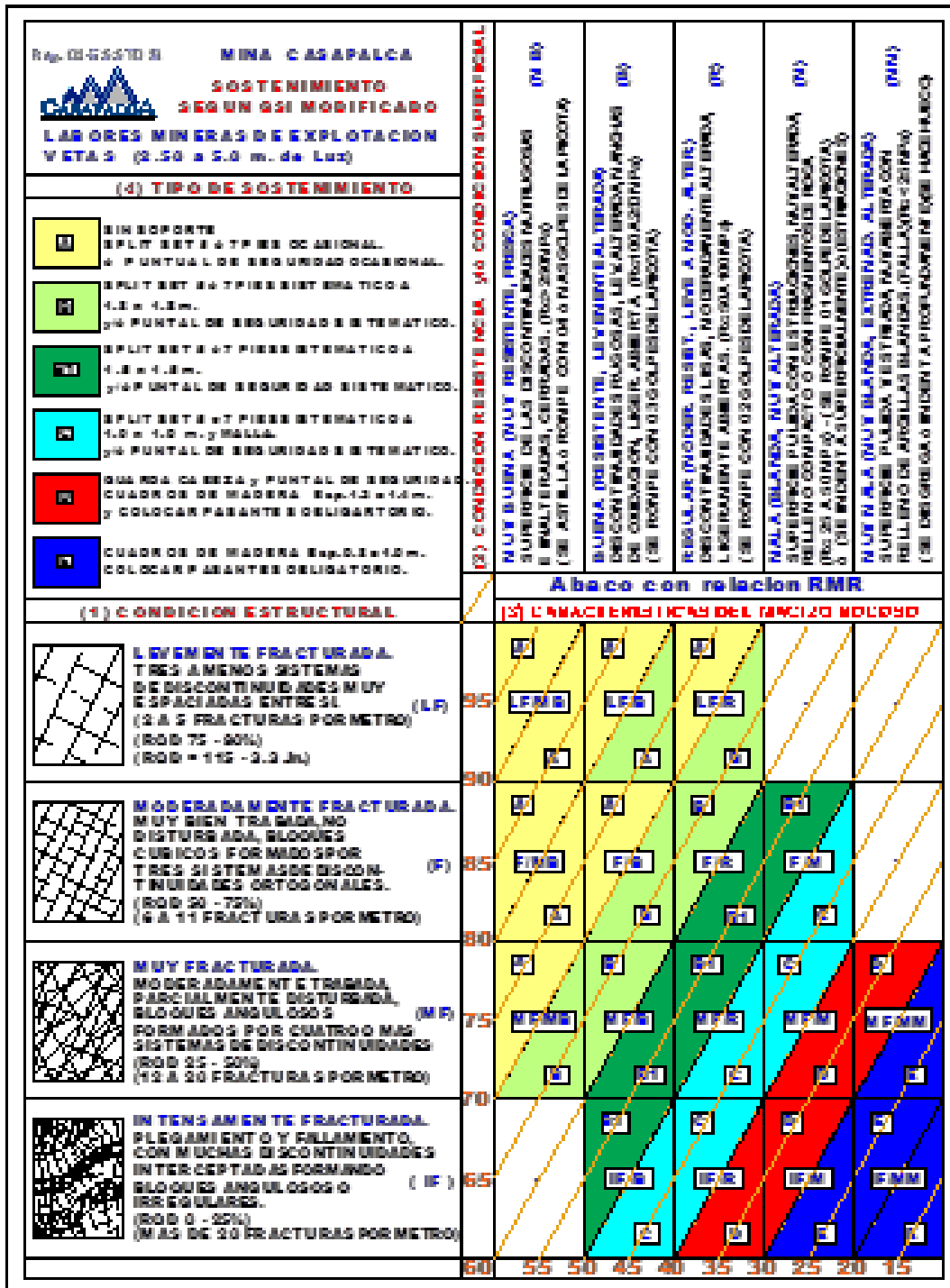
## ANEXO 4

### Gráfico No 8: CARTILLA GEOMECANICA



Fuente: Oficina de Geomecánica- Compañía Minera Casapalca

Gráfico No 9: CARTILLA GEOMECANICA



Fuente: Oficina de Geomecánica - Compañía Minera Casapalca.



## ANEXO 5

**Fotografía 5: Vista Panorámico - Compañía Minera Casapalca**



**Fuente:** Compañía Minera Casapalca

**Fotografía 6: Vista Relavera - Compañía Minera Casapalca**



**Fuente:** Compañía Minera Casapalca

# ANEXO 6

