

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



**T E S I S**

**Estudio geomecánica para aplicar el sostenimiento con shotcrete vía**

**húmeda en la mina Coturcan – compañía minera Lincuna S.A.,**

**Región-Ancash**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Julio Euclides ALANIA MUÑOZ**

**Asesor:**

**Mg. Silvestre BENAVIDES CHAGUA**

**Cerro de Pasco – Perú - 2023**

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



**T E S I S**

**Estudio geomecánica para aplicar el sostenimiento con shotcrete vía  
húmeda en la mina Coturcan – compañía minera Lincuna S.A.,  
Región-Ancash**

**Sustentado y aprobado ante la comisión de Jurados:**

---

**Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Raúl FERNANDEZ MALLQUI**  
**MIEMBRO**

---

**Ing. Julio Cesar SANTIAGO RIVERA**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a Dios  
por brindarme sabiduría.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis Padres, quienes son mi motor y base en mi formación como profesional. guía en mi objetivo trasado, la razón que me impulsa a seguir luchando por mis metas trazadas.

## RESUMEN

Compañía Minera Lincuna S.A. está realizando cambios para establecer un proceso de gestión, conforme va incrementando la producción en todas sus unidades.

Estudiar la calidad del macizo rocoso, los parámetros geomecánicos del macizo rocoso en la mina Coturcan, construir un modelo geomecánico para estimar la tensión principal y la dirección y evaluar el método de extracción más adecuado. Las condiciones naturales exhibidas por la estructura mineralizada para permitir el dimensionamiento geomecánico, la evaluación y el rediseño de los tajos, puentes y estribos de la mina, lo que permite un uso óptimo de los elementos de soporte, como el hormigón proyectado húmedo. En la mina Coturcan, se viene trabajando con el Shotcrete vía seca, la con la cual no se tiene buenos resultados en el sostenimiento, que se realiza en el proceso de desarrollo, preparación y explotación, lo cual viene generando accidentes de trabajo, tiempos muerto en la producción, desfases y pérdidas materiales; la aplicación del sostenimiento con shotcrete vía húmeda sería muy adecuado por ser más versátil que permitirá efectuar un sostenimiento oportuno en cada ciclo de minado, maximizando la extracción del mineral, en condiciones seguras, y el adecuado cumplimiento de la producción establecida. Recopilación de datos geomecánicos de campo y procesamiento de información de oficina; como inferencia, se deriva de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso. En la Mina Coturcan, se implementará en base a este estudio el lanzado de Shotcrete vía húmedo mecanizado Diseñado para aumentar la productividad y los estándares de seguridad aceptables en la fase de apoyo del ciclo minero al brindar apoyo basado en la calidad del macizo rocoso.

El concreto húmedo reducirá el número de pasos de apoyo, brindando al personal la velocidad y estabilidad para realizar las fases de perforación y voladura del ciclo minero de la Mina Coturcan – Compañía Minera Lincuna.

**Palabras claves:** Sostenimiento oportuno, Shotcrete vía húmeda, estabilidad, seguridad.

## **ABSTRACT**

Lincuna Mining Company S.A. is making changes to establish a management process, as it increases production in all its units.

Study the quality of the rock mass, the geomechanical parameters of the rock mass in the Coturcan mine, build a geomechanical model to estimate the principal stress and direction and evaluate the most suitable extraction method. The natural conditions exhibited by the mineralized structure to enable geomechanical sizing, evaluation, and redesign of mine pits, bridges, and abutments, allowing optimal use of support elements such as wet shotcrete. In the Coturcan mine, work has been done with dry shotcrete, which does not have good results in sustaining, which is carried out in the development, preparation and exploitation process, which has been generating work accidents, downtime in production, mismatches and material losses; The application of support with wet shotcrete would be very suitable 'because it is more versatile, which will allow for timely support in each mining cycle, maximizing the extraction of the mineral, in safe conditions, and adequate compliance with the established production. Field geomechanical data collection and office information processing; as an inference, it is derived from the geomechanical properties of the rock mass. Field geomechanical data collection and office information processing; as an inference, it is derived from the geomechanical properties of the rock mass. At the Coturcan Mine, based on this study, the mechanized wet Shotcrete casting will be implemented. Designed to increase productivity and acceptable safety standards in the support phase of the mining cycle by providing support based on the quality of the rock mass.

Wet concrete will reduce the number of support steps, providing personnel with the speed and stability to carry out the drilling and blasting phases of the mining cycle of the Coturcan Mine – Compañía Minera Lincuna.

**Keywords:** Timely support, wet shotcrete, stability, safety.

## **INTRODUCCION**

Compañía Minera Lincuna S.A. a través del departamento de Geomecánica ha realizado el estudio geomecánico integral de la mina, como la actualización del estudio realizado el año 2019. Esto implica una evaluación geomecánica de las minas Hércules, Caridad y Coturcan para determinar entre otros aspectos “el arreglo estructural, calidad de masa rocosa, estimar parámetros de resistencia a nivel de roca intacta - discontinuidades - masa rocosa, establecer el modelo geomecánico conceptual, estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, evaluar los métodos de explotación aplicables para las condiciones naturales que presentan las estructuras mineralizadas de interés, realizar el dimensionamiento geomecánico en (tajos, puentes y pilares), analizar la estabilidad de las excavaciones, evaluar y rediseñar el sostenimiento, evaluar la instrumentación geomecánica aplicable a las necesidades de la mina, establecer recomendaciones que permitan una óptima utilización de elementos de sostenimiento.

## **INDICE**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	2
1.2.1. Delimitación espacial .....	2
1.2.2. Delimitación temporal.....	3
1.3. Formulación del Problema .....	3
1.3.1. Problema General.....	3
1.3.2. Problemas Específicos .....	4
1.4. Formulación de Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación .....	4
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	5
1.7. Importancia y Alcance de la Investigación.....	5

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.2.	Bases Teóricas - Científicas.....	10
2.2.1	¿Qué significa shotcrete? .....	10
2.2.2	Método por vía húmeda .....	12
2.2.3.	Geología regional .....	13
2.2.4.	Geología estructural .....	15
2.2.5.	Geología local .....	20
2.2.6.	Geología Económica .....	23
2.3.	Definición de términos básicos .....	24
2.4.	Formulación de Hipótesis .....	29
2.4.1.	Hipótesis General .....	29
2.4.2	Hipótesis Específicos .....	29
2.5.	Identificación de las Variables .....	29
2.5.1	Variable Independiente: .....	29
2.5.2.	Variable Dependiente:.....	29
2.6.	Definición Operacional de Variables e Indicadores .....	30

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1.	Tipo de investigación .....	31
3.2.	Nivel de la Investigación.....	32
3.3.	Métodos de la Investigación. ....	32
3.4.	Diseño de la Investigación .....	32
3.5.	Población y Muestras .....	32
3.5.1	Población.....	32
3.5.2	Muestra.....	32

3.6.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	33
3.6.1	Técnicas.....	33
3.6.2.	Instrumentos.....	33
3.7.	Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	34
3.8.	Tratamiento estadístico .....	34
3.8	Orientación ética filosófica y epistémica .....	34

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	36
4.1.1.	Investigaciones básicas .....	37
4.1.2.	Investigación Geomecánica .....	38
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	54
4.2.1.	Evaluación del Sostenimiento .....	54
4.3.	Prueba de Hipótesis.....	61
4.4.	Discusión de Resultados .....	61
4.4.1.	Consideraciones Técnicas para la Aplicación del Sostenimiento .....	61

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Vista Panorámica de la Compañía Minera Lincuna S.A.	3
Ilustración 2. Esquema Geológico Regional.	14
Ilustración 3. Esquema Vista en Planta – CIA Minera Lincuna.	18
Ilustración 4. Estructura Hércules – COTURCAN.	19
Ilustración 5. Modelo Geológico Estructural.	23
Ilustración 6. Diaclasas Coturcan.	45
Ilustración 7. Diagrama de rosetas - Sistemas de diaclasas Coturcan.	45
Ilustración 8. Diagrama de rosetas - fallas Coturcan.	46
Ilustración 9: RMR ajustado por daños de voladura.	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de Variables .....	30
<i>Tabla 2 Principales Sistemas de Diaclasas</i> .....	44
Tabla 3. Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000". .....	49
Tabla 4. Factores de seguridad - Diseño subterráneo Mina. ....	54
Tabla 5. "Aberturas máximas vs Tiempo de Auto-soporte" M.R. sin daño.....	59

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Anexo 2. Descripción Petrográfica Macroscópica.

Anexo 3. Panel Fotográfico.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El alcance del estudio implica realizar una Estudio Geomecánico, que involucra las estructuras mineralizadas y su entorno físico en la Mina Coturcan. Según información topográfica del departamento de geomecánica para fines del estudio las estructuras mineralizadas actualmente explotadas se tipifican como "mantos y vetas" con geometrías que van desde "tabulares a irregulares" de bajo buzamiento en la Mina Coturcan.

La excavación de rocas mediante perforación y voladura, genera un nivel de daño considerable a la masa rocosa disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, cuantificar el nivel de daño asociado al proceso de voladura implica realizar una valoración cuantitativa y cualitativa de los impactos generados.

En muchas ocasiones operacionalmente se dejan labores abiertas sin sostenimiento, estas labores conforme pasa el tiempo se comienzan a deteriorar por diversos motivos, como carga, agua, vibración, humedad, falta de ventilación, etc.

debido a esta situación insegura, los soportes deben colocarse accidentalmente en la mina, lo que genera pérdidas durante la operación minera, por lo tanto es favorable instalar el sostenimiento en forma “oportuna”, con la finalidad de buscar el equilibrio tenso-deformacional, en la masa rocosa y buscar restablecer su equilibrio de inmediato. El sostenimiento con Shotcrete por vía húmeda es uno de los más efectivos en todo proceso de sostenimiento ya que es oportuno en diferentes excavaciones.

Por lo tanto la empresa minera requiere la actualización del estudio geomecánico de la Mina Coturcan, lo cual permitirá efectuar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, con este propósito el área de geomecánica, ha llevado a cabo un programa de investigaciones "geológicas-geomecánicas" con la finalidad de evaluar características de las masas rocosas que involucra el área de interés, a través del mapeo geológico-geomecánico en afloramientos de superficie e interior mina, ensayos de campo (estimación de la resistencia a compresión simple, estimación del coeficiente de rugosidad de juntas, estimación de la resistencia a compresión simple en la pared de las discontinuidades) y la realización de ensayos de laboratorio, con la finalidad de tener un control de estabilidad a través de la aplicación del Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda.

## **1.2. Delimitación de la Investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La Mina, se encuentra ubicada entre el límite NE-E de la Provincia de Aija y el límite NW-W de la Provincia de Recuay, en el Departamento de Ancash, sobre el flanco occidental de la Cordillera Negra a una altitud variable entre los 3,900-4,600 m.s.n.m. Desde la ciudad de Lima, para ingresar a las minas por la ruta principal Lima-Paramonga-Recuay-Aija, se toma la carretera Panamericana Norte

durante unos 203 km hasta el puente de Fortaleza (Paramonga), luego se sigue por la carretera pavimentada de Paramonga a Recuay. es de aproximadamente 225 km. Finalmente, partiendo de Recuay por la vía afirmada Recuay-Aija, se inicia el recorrido de aproximadamente 26 kilómetros hasta llegar al distrito de Mina Hércules, donde se encuentran las principales instalaciones mineras. El tiempo promedio de viaje en esta ruta oscila entre siete y ocho horas aproximadamente.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

La duración del proyecto es de seis meses, empezando en enero 2021 a junio 2021

#### *Ilustración 1.*

*Vista Panorámica de la Compañía Minera Lincuna S.A.*



*Fuente: Departamento de Ingeniería Lincuna*

## **1.3. Formulación del Problema**

### **1.3.1. Problema General**

¿Es posible efectuar el estudio Geomecánica para aplicar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna S.A., Región- Áncash?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a) ¿La realización del estudio geomecánica determinara la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan?
- b) ¿La aplicación del sostenimiento con Shotcrete vía húmeda permitirá el control de la estabilidad de las labores en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Efectuar el estudio Geomecánica para aplicar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna S.A., Región-Áncash.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a) Realizar el estudio geomecánica para determinar la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.
- b) Aplicar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda permitirá el control de la estabilidad de las labores en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna.

## **1.5. Justificación de la investigación**

La empresa proyecta implementar mejoras significativas en los procesos que involucran las operaciones de explotación por métodos subterráneos en la mina Coturcan; dentro de estos procesos la geomecánica y el tipo de sostenimiento juegan un rol muy importante en el sentido que provee al diseñador (planificador) información útil para los propósitos de "Diseño y Dimensionamiento de la Mina". En este contexto la empresa Minera a encargado, realizar el "Estudio Geomecánico de la Mina y evaluar la aplicación del Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda",

cuyo desarrollo, resultados, conclusiones y recomendaciones se presentan en este trabajo de investigación.

#### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

En estos aspectos se tienen limitaciones relacionados a características "geomorfológicas, estratigráficas y estructurales de la geología en el contexto regional" y aspectos más relevantes de la geología en el contexto local con fines del estudio (geomecánico); entre estos se resaltan "cuadro tecto-estratigráfico, mineralización, alteraciones y controles estructurales". Es necesario precisar que las limitaciones se basan en observaciones geológicas realizadas durante los trabajos de campo por las zonas inaccesibles que no son posibles su observación, pero que en gran medida fueron detalladas y evaluadas con alto criterio.

#### **1.7. Importancia y Alcance de la Investigación**

El estudio es de alcance correlacional, ya que se analizarán los consumos durante los años de producción, el movimiento de los materiales y así determinar el destino de estos, para poder reducir el valor de inventario.

## CAPITULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. Antecedentes de estudio

##### a) Antecedentes nacionales.

- **Torres, L. (2015)**, de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, desarrolla su tesis “Diseño y Aplicación de Shotcrete para optimizar el Concluye:

La aplicación del método por vía húmeda favorece la operación mina ya que presenta niveles bajos de polución debiendo utilizarse en todas las labores mineras, siempre y cuando se tenga las condiciones necesarias caso de la unidad Minera San Cristóbal. en la Unidad Económica San Cristóbal

El beneficio obtenido con el uso de shotcrete es el siguiente: Sostenimiento de shotcrete vs Malla electro soldada es de S/. 2 319,456 y entre el shotcrete utilizado el 2015 vs el propuesto del 2016 es de S/.40,403.

La posibilidad de ahorro en tiempos y costes al aplicarlo por vía húmeda como sostenimiento permanente es, en la mayoría de los casos, considerable, pero por razones de traslado y distancias el más conveniente es el lanzado por vía seca. Ya que en vía seca se utiliza mallas y vía húmeda no se utiliza salvo requiera sostenimiento pesado.

Considerando la rapidez y efectividad del concreto lanzado como una herramienta fundamental en el sostenimiento de labores subterráneas, se tiene en este un elemento importante como solución tanto en control de derrumbes como en el sostenimiento preventivo en labores de profundización y avance.

- **Camarena, F. (2018)**, de la Universidad Nacional del Centro del Perú, presenta su tesis “Optimización del sostenimiento con shotcrete vía húmeda con fines de minimizar costos y mejorar la producción de lanzado de la E.E. Robocon S.A.C. En La Mina San Cristóbal - Cía. Minera Volcán S.A.A.”; Llega a las siguientes conclusiones:

1. Se controló y minimizó en gran medida el porcentaje de rebote de fibras en el lanzado de shotcrete mediante a la aplicación correcta de las técnicas de proyección de lanzado y el uso exclusivo de un diseño de mezcla, reduciendo así costos en la operación por m<sup>3</sup> de shotcrete.
2. Se mejoró el rendimiento del sostenimiento con shotcrete vía húmeda, la calidad, vida útil y resistencia del concreto adherido a la roca, aplicando una dosificación ideal de insumos de shotcrete en el proceso de preparación y diseño de mezcla.
3. Se disminuyó la existencia de los 3 procesos desviados de lanzado de shotcrete en la operación y se logró una bombeabilidad óptima con el

equipo Alpha 20 en cada lanzado de frente gracias a las capacitaciones constantes en temas de uso, proceso y técnicas de lanzado a los operadores.

4. El mejoramiento continuo del sistema de sostenimiento con shotcrete vía húmeda es el resultado de trabajar con parámetros de alto rendimiento como presión y caudal de aire adecuados, respetando el tipo de terreno y los estándares de dimensiones de los tajeos, a fin de garantizar la uniformidad y eficiencia de un buen lanzado de shotcrete.
5. La segregación de insumos en forma inicial en el proceso de dosificación de concreto, fue uno de los aspectos más significativos del control de calidad en la operación en este sistema. Esta segregación se consiguió trabajando con slump 0, con un rebote menor 10% y con una relación agua/cemento = 1.8.
6. Evitar la mezcla de insumos de diferentes marcas y tipos en la dosificación para el diseño de shotcrete ya que como consecuencia se obtiene rendimientos variables en el porcentaje de rebote y lanzado de shotcrete. Controlando también el contenido de agua, tamaño de partículas y el espesor lo cual juegan un rol muy importante en la resistencia del concreto lanzado.
7. Se cuenta con una buena disponibilidad de equipos pesados para la mina, en los cuales están presentes los robots Alpha 20 y los equipos Mixer – tomado que tiene una capacidad de 4m<sup>3</sup>, lo cual facilita las operaciones y evita las paralizaciones intempestivas. Esto permite una buena disponibilidad de equipos para un buen trabajo de sostenimiento mecanizado con shotcrete y por ende, mejora la producción.

8. Es importante que se respeten los estándares de dimensiones de los tajeos, a fin de garantizar condiciones adecuadas de estabilidad tanto en el sostenimiento con shotcrete vía húmeda como de los procesos de minado.
9. Seguir trabajando con un buen sistema de control de calidad en el sostenimiento con shotcrete via húmeda para evitar desviaciones en el lanzado y trabajar con los equipos mecanizados que cuenta la empresa, ya que lanzando de 40 a 50 m<sup>3</sup> de shotcrete por guardia garantiza la seguridad en la operación y permite llegar a una producción.

**b) Antecedentes internacionales**

- **Gonzales, L. (2009)**, de la Universidad Javeriana Bogota, Colombia, presenta tesis de investigación “Diseño del Sistema de sostenimiento mecanizado para la Empresa Wilcos Minera S.A”. La investigación está basada En el diseño de sistemas de apoyo a la mecanización, WILCOS Minera S.A. Se utilizan procedimientos estandarizados para reducir los riesgos a los que se enfrentan los empleados en el día a día, promover su bienestar y aumentar la productividad de la empresa. Lo primero que debe hacer es dibujar un diagrama de flujo para comprender la dirección estratégica de la empresa y alinear el trabajo con sus objetivos. Posteriormente se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa de acuerdo a los requerimientos de las normas de seguridad y otro diagnóstico para entender el cumplimiento de los actos normativos vigentes en Colombia. Se elaboró un plan de medidas correctivas y preventivas para adecuar la situación de la empresa a los requerimientos de la normatividad vigente en Colombia, se realizó un panorama de

riesgos, análisis de vulnerabilidades, se elaboró un plan de implementación del sistema para que la empresa pudiera utilizarlo. Finalmente, se realizó un análisis económico para determinar si la implementación del sistema era factible para la empresa.

- **Salgado, R. (2014)**, Universidad Austral, Valdivia- Chile, desarrolla la tesis “Sistema de Sosténimiento para la Construcción De Obras Civiles, Aplicado a la Construcción de túneles”. Esta tesis Se presenta el modelo del sistema de soporte de ingeniería utilizado en la construcción del túnel, se entrega un manual en el que se menciona la descripción de todos los procedimientos documentados e interacciones de procesos definidos para el sistema de soporte. Mencionaron: puntos de regulación, sistemas de apoyo. Se ilustra un plan general orientado a la construcción de túneles, definiendo el flujo sistemático, los recursos y los controles aplicados a los distintos elementos de trabajo en los que se divide el procedimiento de construcción.

## **2.2. Bases Teóricas - Científicas.**

### **2.2.1 ¿Qué significa shotcrete?**

El shotcrete (mortero, o «gunita») Se viene utilizando hace 90 años. Los primeros trabajos con shotcrete fueron realizados en los Estados Unidos por la compañía Cement-Gun (Allentown, Pensilvania) en 1907. El empleado de la compañía, Carl Ethan Akelly, necesitaba una máquina para rociar material sobre rejillas para crear modelos de dinosaurios, e inventó el primer dispositivo para rociar material seco en edificios nuevos.

El nombre "gunita" todavía se usa hoy. Es similar a la granalla en algunas categorías, pero el límite de tamaño de partícula es diferente (según el país, el límite máximo de áridos se define en 4, 5 o incluso 8 mm).

Para no confundir el hormigón proyectado con el hormigón celular, en este libro utilizaremos el término "hormigón proyectado" (o hormigón proyectado) para referirnos a una mezcla de hormigón proyectado y agregados.

Actualmente, existen dos métodos de aplicación de hormigón: seco y húmedo. La primera aplicación de hormigón proyectado se realiza por vía seca; en este método, una mezcla de cemento y arena se coloca en la máquina y se pasa a través de una manguera con aire comprimido; el agua necesaria para la hidratación se aplica a las boquillas.

Los métodos húmedos comenzaron a usarse después de la Segunda Guerra Mundial. Al igual que con el concreto ordinario, toda el agua requerida para la hidratación se agrega a la mezcla y se bombea a través de mangueras a equipos especiales. El material se inyecta suministrando aire comprimido a la boquilla. Aunque algunos afirman que el concreto aireado es un tipo especial de concreto, en realidad es solo otro método para verter concreto. De manera similar a los métodos de colado tradicionales, el hormigón premezclado también requiere ciertas propiedades específicas del hormigón durante el colado, respetando todos los requisitos técnicos habituales del hormigón: relación agua-cemento, dosificación de cemento, consistencia y acabado correctos. Los trabajos de shotcrete proyectado de mala calidad abundan en todo el mundo porque la gente olvida que el shotcrete prefabricado es solo otra forma de colocarlo y que se deben cumplir todos los requisitos de ingeniería específicos. Equipo significativamente mejorado para

ambos métodos (húmedo y seco). En un capítulo aparte se describirán los últimos avances tecnológicos.

### **2.2.2 Método por vía húmeda**

Como se mencionó anteriormente, este método es el único utilizado en Escandinavia, Italia y muchos grandes proyectos subterráneos en todo el mundo. El uso de hormigón prefabricado en aplicaciones de soporte de rocas ha crecido exponencialmente durante los últimos 15 a 20 años, lo que ha impulsado el rápido desarrollo del hormigón prefabricado.

Entre 1971 y 1980, el impresionante desarrollo de los métodos húmedos en Escandinavia fue seguido por una transformación completa del mercado del hormigón proyectado: de 100 % seco a 100 % húmedo, con aplicaciones que van desde manuales hasta robóticas. Este cambio radical tuvo lugar sólo en Noruega. Aproximadamente desde 1976 hasta 1978, el humo de sílice y las fibras metálicas se agregaron cada vez más al concreto húmedo. Los noruegos son sin duda los líderes en tecnología de hormigón proyectado húmedo, tanto en la teoría como en la práctica.

El moldeo por inyección húmeda tiene mala reputación debido al uso de equipos deficientes y poco conocimiento del método, lo que da como resultado la producción de concreto de muy mala calidad. Se utiliza un contenido de agua muy alto con una relación agua/cemento de hasta 1,0 para impulsar la mezcla a través de la máquina.

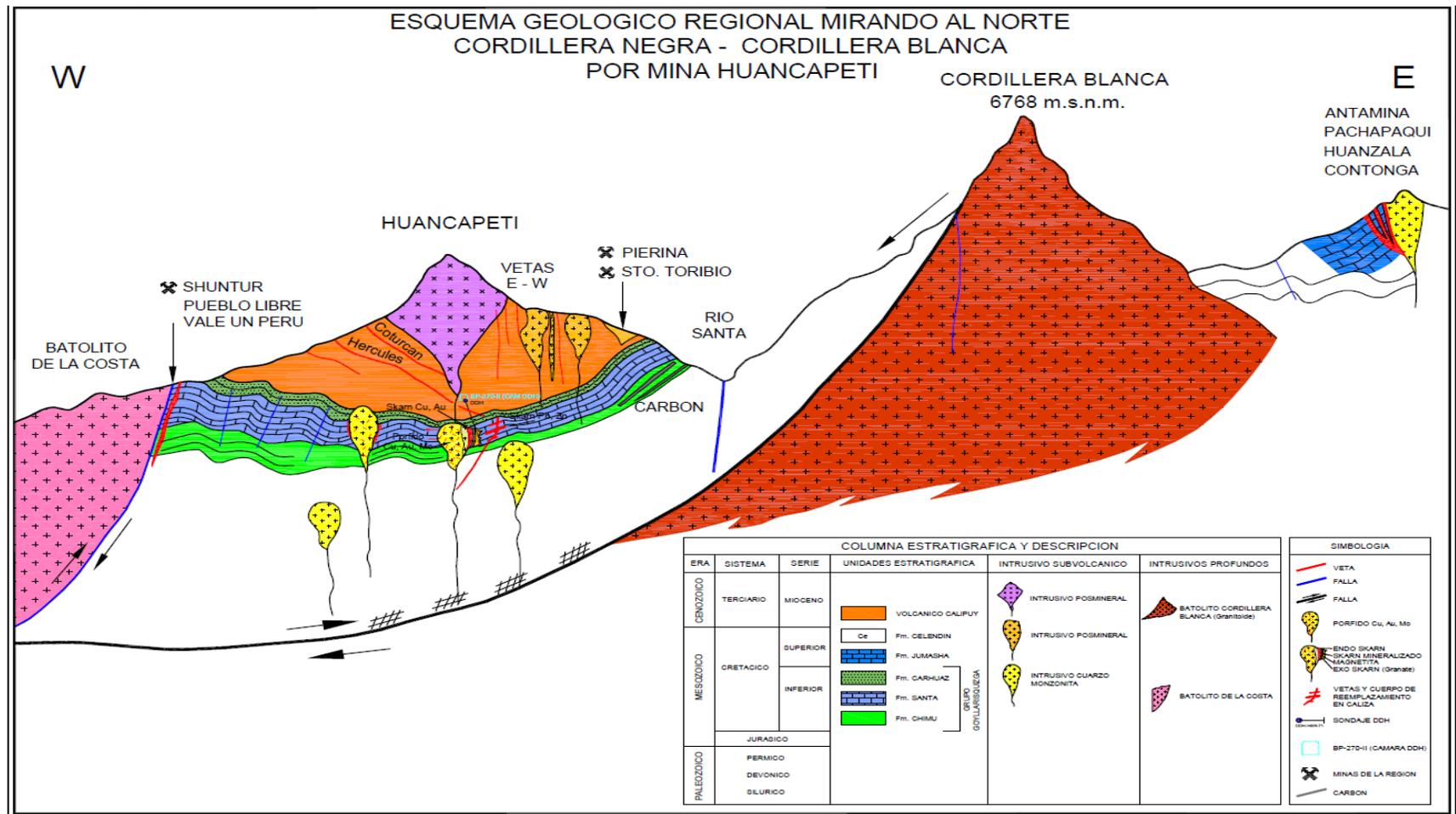
Gracias a las tecnologías actuales de la industria del hormigón, es completamente posible producir hormigón proyectado húmedo con una resistencia a la compresión de 28 días superior a 60 MPa. Hoy en día, esta técnica también se utiliza en la construcción de nuevos edificios (en lugar del método de colocación

original) y para la reparación de plataformas de perforación en el Mar del Norte. Esto demuestra la alta calidad del método, teniendo en cuenta los estrictos requisitos que deben cumplir los métodos y materiales utilizados en la construcción submarina.

### **2.2.3. Geología regional**

La geología regional del sector está definida por la "Cordillera de los Andes", que forma la unidad definitoria "geográfica, geomorfológica y geológicamente". En esta unidad se identifican rocas intrusivas terciarias correspondientes a cuerpos de pórfidos compuestos por dacita y dacita riolítica. También se muestra el grupo Calipui, que se distribuye a lo largo de la "Cordillera Negra" formando la parte más alta, en una banda en dirección "NW - SE", cuyo ancho varía de "25 a 40 km". Debido a los profundos valles transversales correspondientes a los grandes ríos " Pativilca, Fortaleza, Aija y Pira", su límite oriental está formado principalmente por el río Santa; sin embargo, existen afloramientos de este grupo en el extremo sur de la "Cordillera Blanca y Cordillera de Huayhuash", según la literatura, Calipuy (INGEMMET) con una fuerza de unos 2000 metros y en lugares hasta 3000 metros de formación volcánica variable. , compuesta principalmente por gruesas rocas piroclásticas de andesita; también hay que señalar que hay mucha lava de andesita y roca fundida de dacita. La secuencia varía mucho, por lo que una sección medida en un lugar tiene poca semejanza con una sección medida en cualquier otro lugar.

**Ilustración 2.**  
**Esquema Geológico Regional.**



*Fuente: Departamento de Ingeniería Lincuna*

### **2.2.3.1. Estratigrafía en el contexto regional**

Regionalmente estratigráficamente, el Grupo Calipuy es principalmente estratos mesozoicos con importantes discordancias. Las unidades más jóvenes son la "Formación Casapalca y la Formación Chicama la más antigua". Se especula que el Grupo Kalipui se introdujo después de períodos de "plegamiento, erosión y levantamiento" que afectaron a las unidades anteriores y finalmente causaron una gran erosión.

### **2.2.3.2. Edad y correlación.**

En un contexto regional, el Grupo Kalipui ocasionalmente contiene depósitos sedimentarios depositados en lagunas de agua dulce. Generalmente consisten en "lutita y arenisca". Estratigráficamente, se sabe que los depósitos del "Grupo del Calipuy" se encuentran sobre superficies erosionadas bien desarrolladas, en cuyo caso se puede suponer que pertenecen a la edad Cenozoica. Se ha demostrado que el Grupo Kalipui se extiende desde el "Eoceno hasta el Mioceno" y que los pliegues y las superficies erosionadas de los estratos subyacentes se desarrollaron en el "Paleoceno". El Grupo Calipuy ha sido reconocido por varios autores en el norte y centro de Perú como representado por las "Formaciones Tembladera, Lama y Porculla del Norte Peruano" asociadas con la Formación Jantaka "Peruana Central", y como "Tocpara y Porculla". Formación en el sur del Perú" parte del grupo Takasa.

### **2.2.4. Geología estructural**

En la Cordillera Negra se han definido tres tipos de estructuras: fallas, pliegues y anillos.

**Fallas.** - Están divididas en dos sistemas.

1. El sistema de orientación NW-SE de los Andes corresponde a las fallas regionales que controlan el desarrollo de los Andes y la geodinámica de la cuenca del Mesozoico.
2. El sistema de fallas de tendencia NE\_SW se encuentra entre los sistemas de fallas Huanllac-Churin y Huaraz-Recuay. Las fallas de corte aparentemente son causadas por el movimiento lateral de las fallas de rumbo andinas.

**Estructuras Circulares.** – Están dispuestos en dirección NW-SE. Se encuentra principalmente entre los sistemas de fallas Huaraz-Recuay y Huanllac-Churin y corresponde al centro volcánico del origen de la erupción de lava del arco magmático del Grupo Calipuy.

La estructura circular se estira NE-SW, posiblemente sobre fallas de cabalgamiento desarrolladas en una zona de cizalla transversal dextral, y su dirección de tensión también está en el área de Cajamarca, donde se ubican importantes depósitos. Minas Yanacocha, El Galeno, Michiquillay y Conga.

Hay dos estructuras principales Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra.

- a. Centro Volcánico Hércules.**- Se encuentra en el monte Tarugo, delimitado por los cañones de Carán y Hércules. Lavas andesíticas y brechas piroclásticas surgieron de su roca calcárea y de la discordancia angular del volcán Calipuy. Dentro de la estructura semicircular se ubica el pórfido Tarugo de composición dacítica dentro de un posible foco volcánico y el pórfido Pincullo. Otras pequeñas poblaciones se han asentado alrededor del centro volcánico, como la Dacita Hércules (conocida como Tufo Hércules) en el Cerro Pucara, desde

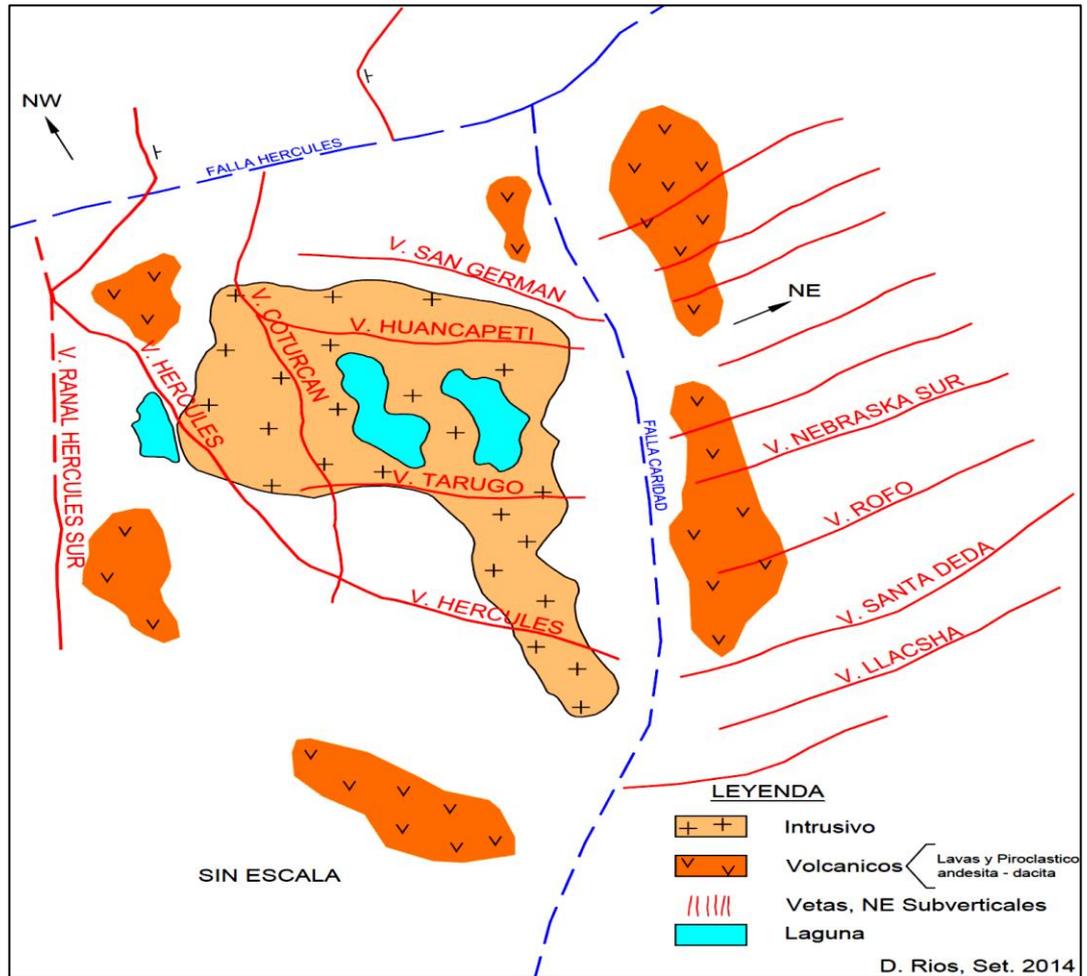
donde se extienden diques de norte a sur; El Pórfido de Huancapeti está ubicado en el borde del Pórfido de Bellota Maguiña de una fisura casi circular, al oeste de la confluencia de los ríos Hércules y Carán; Señor de Burgos Porfirio y Olga Porfirio, estos tres últimos similares en composición a Tarugo. Los impulsos de magma en el centro volcánico definen el patrón principal de fallas, que son fallas de dirección N 30 W, principalmente en las superficies de contacto de los diques dacíticos (tobas), afectados por las fallas principales tipo Tarugo, tipo Wilson, conjugadas con tipo Huancapeti. Los sistemas rotos están conectados. Fracturas por estrés en Nebraska, Carps, Felix II, San Arturo, Santa Deda, Lorraine, etc. Están ubicados fuera del centro volcánico en forma más o menos radial.

Las fallas Señor de Burgos, Hércules y Tucto tienen un rumbo N-E con fallas en sentido horario NW-SE. Pequeñas intrusiones de brecha, turmalina, cuarzo, pirita a lo largo de la falla de Hércules.

- b. Stock Collaracra.-** Ubicado en la montaña del mismo nombre, la parte principal se encuentra a ambos lados del Cañón de Ismopata, de forma aproximadamente circular, de donde sobresalen varios diques y diques estratificados (cans) que se extienden hasta Jinchi y Florida, la composición del depósito es de pórfido y Andyan británico, rocas volcánicas de Calipuy

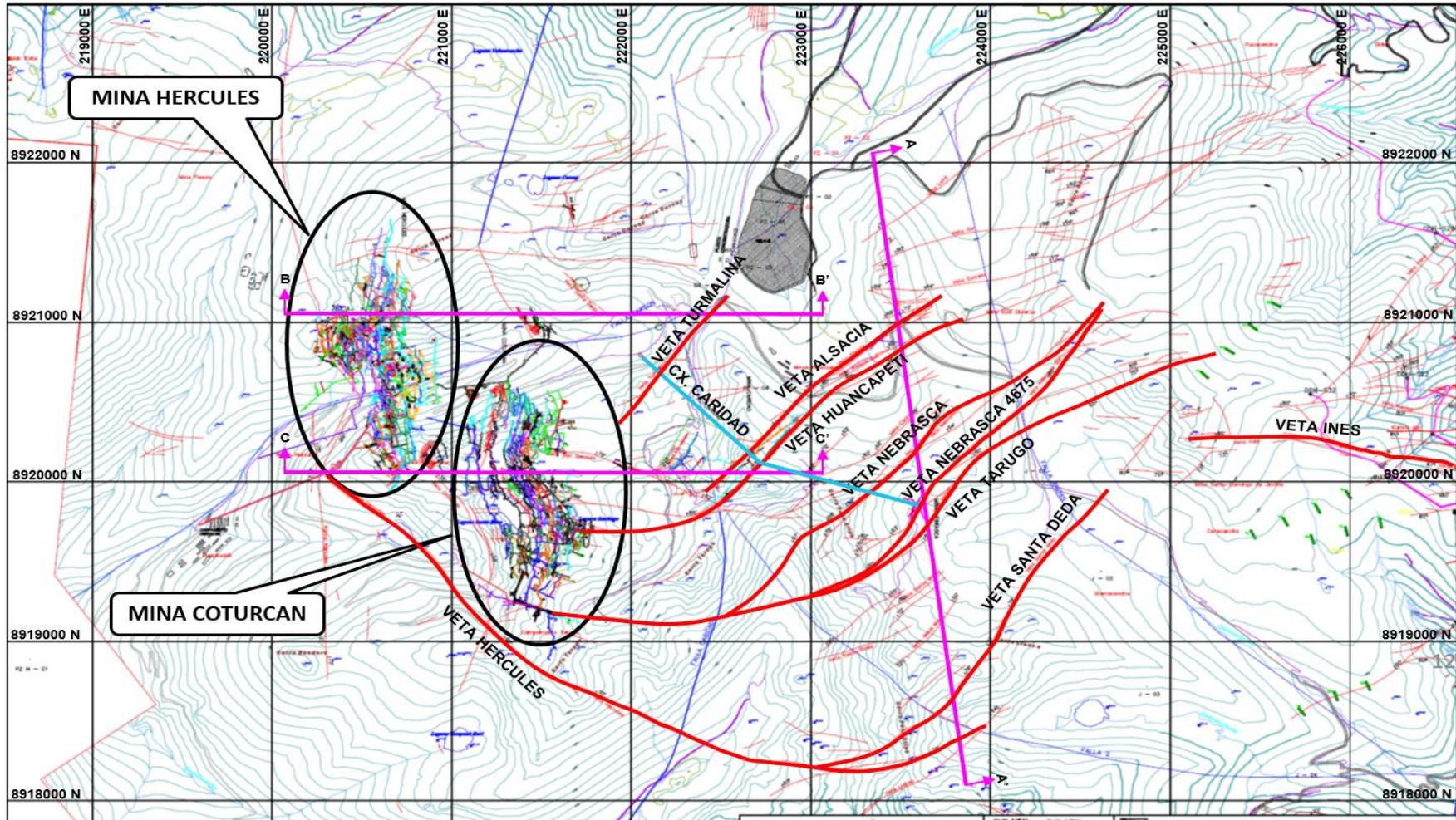
**Ilustración 3.**

*Esquema Vista en Planta – CIA Minera Lincuna.*



*Fuente: Departamento de Ingeniería Lincuna*

*Ilustración 4.*  
*Estructura Hércules – COTURCAN.*



### 2.2.5. Geología local

Esta información se refiere al mapa "litología-tectónica" correspondiente alrededor de la Quebrada Hércules, donde se localiza principalmente la mineralización de las formaciones "Hércules y Coturcan", relacionadas con las facies de mineralización del enjambre volcánico Galipas. La era "Oligoceno-Mioceno (Paleógeno)" suele estar representada por "flujos de lava" de composición andesítica y, en menor medida, flujos piroclásticos. También se requiere la presencia de pequeños procesos de pórfido, lo que especifica la composición de dacita en el área evaluada: descripción de litofacies macroscópicas). Una columna estratigráfica conceptual en el contexto local está representada por las siguientes unidades litológicas.

#### 2.2.5.1. Estratigrafía en el contexto local.

##### Cenozoico

- **Andesitas piroclásticas.** - Esto corresponde a un flujo piroclástico de composición andesítica, formando una textura de pórfido con abundante plagioclasa en una matriz microcristalina de color gris violáceo a verde. La morfología de los cristales de plagioclasa es principalmente semiautóloga debido a sus fracturas y heterogeneidad. El afloramiento se observó como una ventana confinada al área lagunar al sur de Hercules Gorge, enmarcada y delimitada por los volcanes andesíticos suprayacentes. Debido al alto grado de cementación de la roca, su afloramiento tiene una morfología notable y maciza. Fractura vertical.
- **Volcánico andesítico inferior.** - Corresponde a flujos de lava de composición andesítica, en su mayoría afantítica a porfídica y de color

verde a gris. La roca consiste principalmente en cristales de plagioclasa euhedral. Tiene una morfología fuerte con sectores empinados, pero sus superficies salientes tienden a ser ligeramente redondeadas. Se pueden identificar pseudolechos de ángulo bajo de varias orientaciones en todo el afloramiento. Origen en el oeste.

- **Volcánico andesítico superior.** – Similar a la unidad anterior, corresponde a flujos de lava andesítica interrumpidos en menor medida por capas piroclásticas de andesita y dacita bien consolidadas. Estas rocas piroclásticas se caracterizan por una matriz de color púrpura a gris claro, que es blanca en muchos casos, con pórfido a andesita inferior y clásticos de toba angular. Su trabajo abarca desde la dacita hasta la andesita. En el fondo de esta unidad se encuentran gruesas capas de fibras soporte de brechas piroclásticas (foto: 002), heterogéneas, plásticas con un diámetro máximo de 25 cm. Aparecen claramente en pseudocapas, con diferentes ángulos según el terreno. Las fracturas también le dieron una morfología más pronunciada con algunas secciones más blandas (Foto: 003). Se cree que está claramente relacionado con las unidades descritas anteriormente en la parte este del área de estudio.
- **Pórfido dacítico.** - Se encuentra que procesos de plutonio someros menores con estructuras porfídicas afectan la unidad de andesita más baja. Esto probablemente corresponde a una cúpula más grande ubicada a mayor profundidad. Se origina en el lado izquierdo del Cañón del Hércules Inferior.

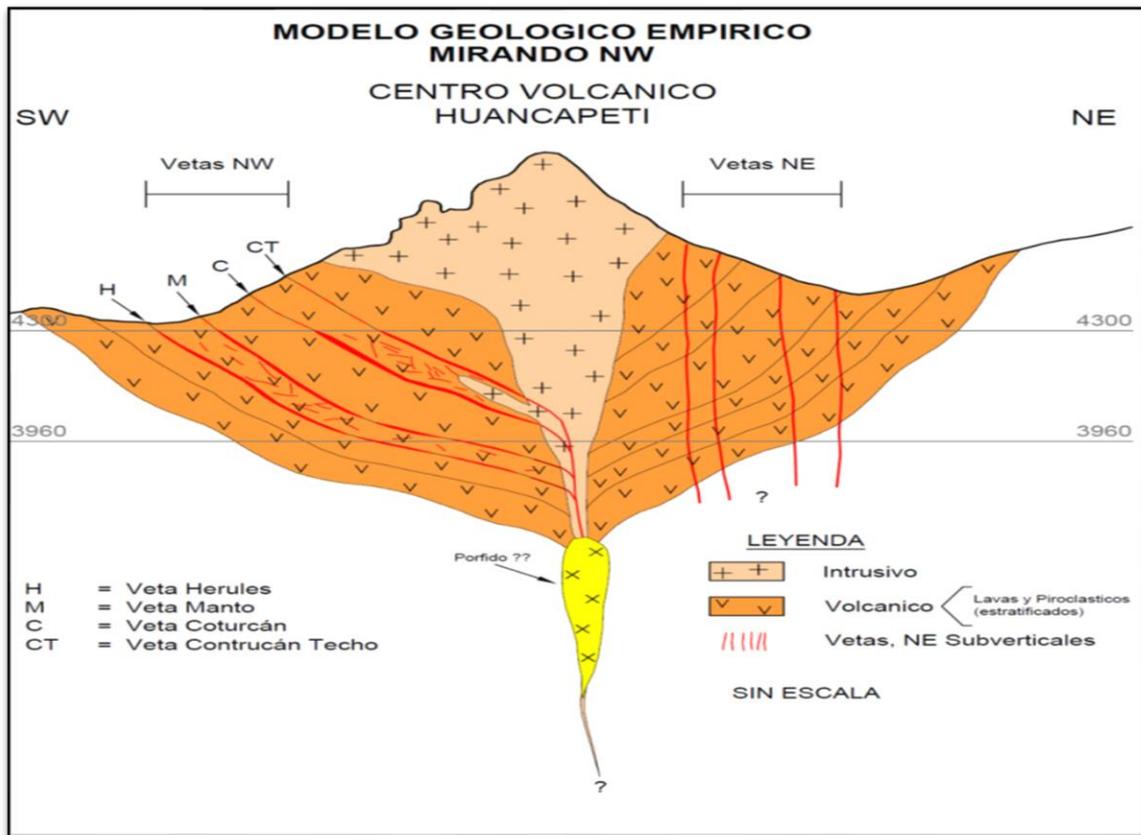
## **Holoceno.**

- Q-glacial. - Los depósitos de morrena se encuentran por todo el territorio, en las laderas y en los propios valles en forma de valles glaciares en forma de U. Tienen una granulación fina.
- Q-**aluvial**. - Diseñados en arroyos y en algunas áreas también asociadas con el drenaje de lagunas, tienen una huella pequeña.

### **2.2.5.2. Contexto estructural**

El sistema de vetas principal tiene una dirección "NW-SE", que está relacionada con la estructura original. La tectónica posterior creó dos grandes sistemas de fallas en la región:

- El cañón principal con dirección "NE-SW" corresponde al cañón principal "Quebrada Hércules", con un movimiento sinusoidal.
- Posteriormente al sistema principal (Quebrada Hércules) se desarrolló el sistema con dirección "NW".
- El primer sistema está relacionado con la presencia de fuertes conexiones verticales en el sentido "E-NE" en toda el área de estudio. Otro sistema de juntas poco desarrollado y pendiente vertical corresponde a la dirección "W-NW". Por otra parte, la aparente "pseudodeslaminación de ángulo bajo" produce superficies débiles en toda la región.



*Ilustración 5.  
Modelo Geológico Estructural.*

## 2.2.6. Geología Económica

### 2.2.6.1 Depósitos Minerales

Los depósitos son de origen hidrotermal como vetas de relleno y reemplazos de fracturas en rocas volcánicas e intrusivas. La mineralización es principalmente plata-plomo-zinc-cobre, incluyendo galena de plata, esfalerita, calcopirita, esfalerita, tetraedronita, etc. Banda de cuarzo I, sílice, pirritas, arsenopiritas, calcita.

Hay dos sistemas principales de afloramientos en vetas:

- **Sistema Hércules.** - Rumbo N 30 W, buzamiento 45° NE, longitudes de 1 a 4 km; vetas: Hércules, Coturcán, Santa Deda.

#### a. Sistema Tarugo. -

Rumbo promedio N 30°- 35° E, buzamiento 80° NW – SW con longitudes de 500 a 20000mts Vetas: Tarugo, Huancapeti, Carpa, Wilson, Tucto, Collaracra, Florida.

**b. Mina Coturcán.-**

Las vetas de la mina se superponen al Hercules Dacite, en el contacto del Hercules Volcanic y el Tarugo Porphyry. Esto también se ve afectado por la culpa de Hércules. Las vetas Coturcán y Hércules A convergen hacia el sur en Tarugo.

**2.3. Definición de términos básicos**

**Apertura.** Es la separación entre muros discontinuos o el grado de apertura que crea. Cuanto menor sea la abertura, mejor será la condición del macizo rocoso, y cuanto mayor sea la abertura, peor será la condición.

**Buzamiento (DIP).** Es el Angulo de la veta, estrato o manto que forma con respecto a la horizontal y se mide en un plano vertical.

**Caballo.** Es la zona estéril de considerable del tamaño dentro de la veta generalmente del mismo material de las rocas encajonantes.

**Caja Piso.** Es la roca que se encuentra debajo de la veta.

**Caja Techo.** Es la roca sobre el lado superior de una veta inclinada.

**Constituyentes esenciales de los criaderos.** la mena, la ganga y el estéril.

**Contactos litológicos.** Que comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

**Criadero, Yacimiento o Depósito Mineral.** Una parte de la corteza terrestre o parte de ella que se forma o se forma por procesos geológicos de minerales valiosos que pueden explotarse para beneficio económico por los medios técnicos disponibles.

**Cuerpo (ORE BODY).** Son depósitos de minerales, grandes e irregulares sin forma, ni tamaño definido.

**Depósitos primarios y secundarios.** Los primeros son los relacionados con el proceso original de formación de las rocas. Este último se forma alterando el primero, lo que a menudo promueve la formación de nuevos minerales.

**Desmonte.** Es todo material estéril que no posee valor económico.

**Diaclasas.** También conocidas como juntas, son fracturas no desplazadas y a menudo ocurren en macizos rocosos.

**Diseminaciones.** Son yacimientos mineralizados donde los granos de mineral están dispersos dentro de la masa rocosa.

**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.

**Estratificación.** Es una superficie característica de las rocas sedimentarias que separa capas de igual o diferente litología. Estas rocas también se pueden encontrar en rocas resultantes del metamorfismo de rocas sedimentarias.

**Explotación.** Es un proceso de minado para extraer el mineral económico utilizando los diversos métodos de explotación para posteriormente ser beneficiado en la planta concentradora.

**Fallas.** Estas son fracturas desplazadas. Estas son pequeñas grietas que representan áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina.

**Ganga.** Una zona invaluable de minerales asociada a detalles de mejor calidad. Este concepto es relativo ya que cambia con el tiempo, el precio y la ley del mineral.

**Hilos.** Vetillas de mineral muy delgadas que se cruzan entre sí.

**Investigaciones Geotécnicas.** Es un programa de investigación geotécnica mediante perforación diamantina para obtener los parámetros y propiedades hidrogeológicas de los materiales presentes en el área de estudio.

**Lentes.** Es el yacimiento de forma lenticular cuya potencia disminuye hacia su contorno. El largo de los lentes es de decenas de metros.

**Mantos.** Cuerpo mineralizado en forma tabular, generalmente se encuentran en posición horizontal o ligeramente inclinado menor de 30°, relativamente de considerable potencia.

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

**Matriz rocosa.** Material rocoso sin roturas o bloques de piedra intactos (del tamaño de una mano o más grandes) entre roturas. Aunque considerado continuo, es heterogéneo y anisótropo, asociado a materia, textura y estructura, minerales.

**Mena.** Parte más valiosa del mineral a partir del cual se puede obtener económicamente uno o más metales.

**Mineral.** Las sustancias inorgánicas naturales que componen la corteza terrestre son económicamente valiosas y constan de dos elementos: minerales y hongos. también inorgánico.

**Minería.** Parte de la industria que se ocupa de la búsqueda, extracción, beneficio y venta de los minerales y rocas de rendimiento económico.

**Orientación.** Es un lugar de discontinuidad espacial caracterizado por el impacto y la caída. Si un grupo de discontinuidades ocurre en direcciones similares y son aproximadamente paralelas, se puede decir que forman un sistema o familia de discontinuidades".

**Perfil geotectónico.** Es un grupo de actividades que incluye exploración submarina, análisis y recomendaciones para el diseño y construcción del subsuelo.

**Perfil litológico.** Es la rama de la geología que estudia la composición y estructura de las rocas, como su granulometría, propiedades fisicoquímicas, estructura metamórfica, etc. También incluye su composición, textura, modo de transporte, así como composición mineral, distribución espacial y composición del cemento. materiales.

**Perforación.** Esta es la primera operación para preparar la explosión. Su propósito es crear un agujero cilíndrico llamado broca en la roca para contener el explosivo y sus accesorios de detonación.

**Persistencia.** Es una extensión de una sola zona o dimensión. Cuanto menor es la persistencia, más estable es el macizo rocoso, y cuanto mayor es el macizo rocoso, más inestable.

**Pliegues.** Son estructuras estratigráficamente curvas. Estas son muescas tabulares de roca ígnea, generalmente empinadas o verticales.

**Potencia.** Espesor o ancho de un yacimiento mineralizado que se mide perpendicular a las cajas.

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

**Relleno:** Son material de rotura. Las masas de piedra son menos adecuadas si los materiales son más blandos y más adecuadas si estos materiales son más duros.

**Roca intacta.** Es el bloque que se encuentra entre los descansos y se puede representar con una muestra de mano o una pieza de control para pruebas de laboratorio.

**Roca meteorizada.** Los minerales y las rocas se descomponen en la superficie de la Tierra o cerca de ella cuando entran en contacto con la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera.

**Rugosidad.** Es la rugosidad o irregularidad de una superficie heterogénea. Cuanto menor es la rugosidad de ruptura, más débil es la capacidad del macizo rocoso, y cuanto mayor es la rugosidad, más fuerte es la capacidad del macizo rocoso.

**Rumbo (STRIKE).** Es la orientación de vetas, formaciones o mantos inclinados en relación con el norte magnético, medido en un plano horizontal.

**Veta o Filon.** Son pequeñas ranuras de la corteza terrestre rellena con mineral, generalmente inclinada mayor a 30° con desarrollo regular en longitud, ancho y profundidad

**Yacimiento de Mineral.** Consiste en uno o más minerales que contienen sustancias metálicas, independientemente del tamaño o la forma del grupo.

**Zonas de corte.** Son bandas de material de pocos metros de espesor, donde se han producido defectos en la roca.

**Zonificación geomecánica.** El proceso de identificar áreas donde los macizos rocosos tienen condiciones geomecánicas similares y por lo tanto se comportan de manera similar.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Si efectuamos el estudio Geomecánica aplicaremos el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna S.A., Región-Áncash.

### **2.4.2 Hipótesis Específicos**

- a) Si realizamos el estudio geomecánica determinaremos la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.
- b) Si aplicamos el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda se permitirá el control de la estabilidad de las labores en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna.

## **2.5. Identificación de las Variables**

### **2.5.1 Variable Independiente:**

X: Estudio Geomecánico para la zonificación y sostenimiento en la Mina Coturcan.

### **2.5.2. Variable Dependiente:**

Y: Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.

## 2.6. Definición Operacional de Variables e Indicadores

*Tabla 1.*  
*Operacionalización de Variables*

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Estudio Geomecánico para la zonificación y sostenimiento en la Mina Coturcan.	la empresa minera requiere la actualización del estudio geomecánico de la Mina Coturcan. Para efectuar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, con este propósito el área de geomecánica, ha llevado a cabo un programa de investigaciones "geológicas-geomecánicas" con la finalidad de evaluar características de las masas rocosas que involucra el área de interés, a través del mapeo geológico-geomecánico en afloramientos de superficie e interior mina, y la realización de ensayos de Laboratorio, con la finalidad de tener un control de estabilidad a través del Sostenimiento con Shotcrete via humeda.	Caracterización Geomecanica.  Sostenimiento	Tipo de roca  Tiempo de Auto Soporte  Parametros Geotecnicos  Zonificación
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.	Diseñar y analizar la aplicación correcta de shotcrete vía húmeda como elemento de sostenimiento en las labores de la Mina Coturcan. Optimizando la calidad del sostenimiento donde el tipo de roca varia de composicion, resistencia y estabilidad, aplicando el lanzamiento de shotcrete vía húmeda. La Mina Coturcan depende del avance de las labores de explotación, preparación y desarrollo, Por lo tanto, es muy importante mejorar el soporte. El uso de concreto húmedo con equipos robóticos permitirá un mantenimiento más rápido, mejorando los ciclos de minado.	Compañía Minera Lincuna	Tiempos de fraguado  Estabilidad  Resistencia

*Fuente: Elaboración Propia*

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Basado en la evaluación geomecánica realizada y la aplicación de esta en el proceso de sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, se determina que tenemos una investigación del tipo Cuantitativa.

Aplicada: En el proceso de explotación y desarrollo de la Mina Coturcan, teniendo como objetivo fundamental el sostenimiento.

Experimental: Por el análisis realizado a la información obtenida durante el proceso recolección de datos.

Documental: En base a la obtenido, a los analisis, la interpretación y comparación de la información encontrada con la información obtenida de la Compañía Minera Coturcan.

- De campo y de laboratorio: Por los resultados obtenidos durante el proceso de investigación.

### **3.2. Nivel de la Investigación**

El nivel de investigación que le corresponde es el nivel descriptivo porque no habrá ninguna aplicación, experimento, solo habrá un planteamiento para su explotación del prospecto.

### **3.3. Métodos de la Investigación.**

El método usado para la realización de la presente investigación fue como sigue:

- **Método deductivo:** Análisis de los datos generales para llegar a una conclusión determinativa.
- **Método inductivo:** Obtener la conclusión general a partir de los datos obtenidos y los antecedentes de la Mina Coturcan, corroborando con los datos obtenidos en el trabajo de campo.

### **3.4. Diseño de la Investigación**

El diseño corresponde a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, se tiene el sostenimiento efectuado en la mina, y la aplicación del nuevo sostenimiento con un diseño adecuado y garantizado de acuerdo a la investigación efectuada con respecto al sostenimiento con Shotcrete vía húmeda y sin aplicación en la Mina Coturcan.

### **3.5. Población y Muestras**

#### **3.5.1 Población**

La evaluación geomecánica en todas las labores de la Mina Coturcan, representa la población del trabajo de investigación.

#### **3.5.2 Muestra**

La información obtenida en base a las caracterizaciones geomecánicas en la Galería principal Nv. 4180, así como también las efectuadas en las labores de la

Mina Coturcan, las cuales nos permiten tener una adecuada determinación para la aplicación del Shotcrete vía húmeda.

### **3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.6.1 Técnicas**

Descripción de las técnicas empleadas

- **Recopilación y análisis de data**

Se recolecta la información histórica de la explotación y de los costos del método de corte y relleno ascendente

- **Observación directa y toma de datos**

Se realiza observaciones directas en el ciclo de explotación de las vetas del método corte y relleno ascendente y de la aplicación de taladros largos.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se utiliza textos y la información electrónica para tener una mejor comprensión acerca de proceso y costos de los métodos de explotación.

#### **3.6.2. Instrumentos.**

##### **Instrumentos de recolección de datos.**

- **Materiales**

- ✓ Planos topográficos.
- ✓ Mapeos geomecánicos Efectuados.
- ✓ Informes geomecánicos.
- ✓ Reporte de procesos de sostenimientos realizados.
- ✓ Sostenimientos realizados con anterioridad (Documentación).
- ✓ Informe de Sostenimientos y detalles geomecánicos.
- ✓ Picota, brújula, flexómetro, mapeador.
- ✓ Estación Total.

- ✓ Libreta de campo.

### **3.7. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.**

El proceso de datos se efectuó en la mina detallando el tipo de roca y la zonificación correspondiente en toda Mina, de acuerdo a la información obtenida y las consideraciones determinadas con respecto a al tipo de roca de acuerdo a la caracterización geomecánica, para el proceso de simulación se aplicó el Software Phase 2, versión 6.024, realizada en cada zona, determinantes para el tipo de sostenimiento a efectuar.

Es importante precisar que el Modelo Geomecánico, considerado para el análisis de la estabilidad varia segundo las secciones geomecánicas y las zonas de explotación, en este contexto se empleó el modelamiento numérico solo en las secciones representativas

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Las acciones que se aplicaron sobre las unidades experimentales y que son objeto de comparación son los sostenimientos realizados y la comparación con el sostenimiento aplicado. Permittiéndonos obtener una estadística dentro de todos los procesos efectuados con anterioridad y en la actualidad admitiendo obtén modelo estadístico que refleja los resultados obtenidos.

### **3.8 Orientación ética filosófica y epistémica**

Al efectuar el presente trabajo de investigación se desarrolló dentro de los principios de la ética profesional, el trabajo es de dedicación propia, teniendo en cuenta los valores y principios de la realización de una investigación. Ocasión para resaltar que la investigación efectuada en la Mina Coturcan de la Compañía Minera

Lincuna, es la consecuencia de las experiencias y de los trabajos realizados en otras empresas en calidad de practicante.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El objetivo principal es Evaluar la Masa Rocosa que conforman la Minas Coturcan. Los alcances del estudio implican el establecimiento de recomendaciones para maximizar la recuperación del mineral, aplicando el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, adecuando las condiciones de las operaciones seguras para hacer en esta mina una explotación “Segura y Rentable”.

Para cumplir con el objetivo y los alcances establecidos, se ha sub dividido el estudio del proyecto en cuatro fases, los mismos que se resumen líneas abajo.

**a. Fase 1.-** Orientado a ejecución de investigaciones básicas (mapeo litológico estructural y geomecánico de afloramientos rocosos en superficie e interior mina, mediante aplicaciones del método Celdas de Detalle. En esta fase también se han realizado ensayos de campo y laboratorio para obtener información de interés que permita evaluar con mayores elementos de juicio los principales factores que controlan la estabilidad de la masa rocosa a nivel de dominios geomecánico.

**b. Fase 2.-** Integración de información obtenida de investigaciones básicas con la finalidad de establecer el modelo geomecánico conceptual, asignar parámetros de resistencia a los dominios geomecánicos, estimar el estado tensional, evaluar los probables modos de falla asociados a discontinuidades estructurales.

**c. Fase 3.-** Selección preliminar de los métodos de explotación en base a condiciones geomecánicas que presentan las estructuras mineralizadas y su entorno físico (cajas); también se realiza el dimensionamiento geomecánico de las unidades de explotación (tajos, pilares y puentes) empleado la técnica grafica desarrollada por Mathews, posteriormente se analiza la estabilidad de estas unidades de explotación empleando los métodos de equilibrio limite y elementos finitos para ajustar y calibrar el diseño final.

**d. Fase 4.-** En esta fase se evalúa los requerimientos de sostenimiento, la cartilla geomecánica se estima y redimensiona los tipos de sostenimiento basados en resultados de caracterización geomecánica y análisis de estabilidad estructuralmente controlada; además se definen las especificaciones técnicas del sostenimiento.

#### **4.1.1. Investigaciones básicas**

Evaluación geológica (mapeo litológico – estructural en superficie y subterráneo).

Investigaciones geomecánicas de campo y laboratorio orientados a:

- Determinar la distribución espacial de los sistemas de discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas) en cada uno de los dominios estructurales.
- Organizar la masa rocosa, usando formatos de registro geológico mecánico de acuerdo a las normas sugeridas por la I.S.R.M (internacional SOCIETY

FOR ROCK MECHANICS) utilizando la aplicación del razonamiento de programación geomecánica RMR 89 de Bieniawski.

- Zonificar la masa rocosa en las áreas de interés, estableciendo dominios geomecánicos en base a información obtenida en las investigaciones de campo y los ensayos de laboratorio.
- Elaborar el modelo geomecánico conceptual en planos de planta y secciones transversales al rumbo de la estructura mineralizada.
- Estimar los parámetros de resistencia en los distintos dominios geomecánicos que conforman el modelo geomecánico de la mina.
- Dimensionar las unidades de explotación mediante la utilización de técnicas gráficas y empíricas.
- Analizar la estabilidad de las unidades de explotación mediante aplicación de los métodos de elementos finitos.
- Evaluar y dimensionar el sostenimiento, según los resultados del estudio
- Evaluar la instrumentación geomecánica aplicable a las necesidades de la mina

#### **4.1.2. Investigación Geomecánica**

##### **4.1.2.1. Antecedentes Inicialmente Disponibles.**

El alcance del estudio implica realizar una Evaluación Geomecánica, que involucra las estructuras mineralizadas y su entorno físico en la Minas "Coturcan". Según información topográfica del departamento de geomecánica para fines del estudio las estructuras mineralizadas actualmente explotadas se tipifican como "mantos y vetas"

con geometrías que van desde "tabulares a irregulares" de bajo buzamiento (Coturcan).

La información topográfica (superficial y subterránea) proporcionada por la empresa minera; se considerada como data importante para los propósitos del estudio y su desarrollo corresponde a la empresa Minera. Esta información muestra en superficies curvas de nivel detalladas al metro y se encuentran procesadas en el sistema de coordenadas "WGS-84"; utilizando los niveles de trabajo en este informe son "1/10000, 1/1000, 1/500" para propósitos del estudio se trabajará con esta información topográfica.

Según información "actual" la empresa minera opera la Mina Coturcan, trabajada mediante el sistema Trackless empleando el método de explotación "Corte & Relleno Ascendente" con sus variables propias de la configuración del yacimiento y el método "sub level stoping" con sus variantes propias, el relleno de los tajos se constituye por desmontes de mina que se disponen de labores en desarrollo y preparaciones en roca estéril (cajas).

En este contexto la empresa minera requiere la actualización del estudio geomecánico. Para este propósito el área de geomecánica, ha llevado a cabo un programa de investigaciones "geológicas-geomecánicas" con la finalidad de evaluar características de las masas rocosas que involucra el área de interés Mina Coturcan, a través del mapeo geológico-geomecánico en afloramientos de superficie e interior mina, ensayos de campo (estimación de la resistencia a compresión simple, estimación del coeficiente de rugosidad de juntas, estimación de la

resistencia a compresión simple en la pared de las discontinuidades) y la realización de muestreos para ensayos de Mecánica de Rocas en Laboratorio.

#### **4.1.2.2. Investigación de Campo.**

El programa de investigaciones "geológicas-geomecánicas" de campo consideradas como parte esencial para los propósitos del estudio ha sido orientada a la evaluar la masa rocosa a través de mapeos geológico-geomecánicos en afloramientos rocosos de superficie e interior Mina y ensayos de campo en las áreas de interés (estructuras mineralizadas y su entorno físico) en la Mina Coturcan, dentro de las zonas de interés.

#### **Mapeo Geológico en Superficie.**

Esta evaluación ha sido realizada en la "Quebrada Hércules y sectores adyacentes" donde se emplazan los afloramientos de las estructuras "Hércules, Coturcan, Huancapeti", con la finalidad de conceptuar rasgos estructurales, estratigrafía en el contexto local, caracterizar macroscópicamente la litología.

#### **Mapeo Geomecánico.**

Evaluación realizada íntegramente en áreas que involucran las minas "Coturcan" con el propósito de determinar la masa rocosa con un listo numérico de cantidad que permita discretizar la masa rocosa en sub-unidades geomecánicas (Dominios geomecánicos). El mapeo geomecánico ha sido ejecutado utilizando la técnica "Celdas de detalle", realizándose en total 180 tiempos geomecánicas definidas como "EG-Ca01..., EG-Co01..., EG-He01... en las zonas "Caridad, Coturcan y Hércules" respectivamente; los resultados de estas evaluaciones (mapeos) se pueden apreciar en el

Anexo 2 (Registro de mapeo geomecánico). Es necesario precisar que una "Celda de detalle" constituye una "estación geomecánica" tipificada correlativamente con la denominación "EG+ código de zona", por ejemplo "EG-Ca03" significa "Estación geomecánica 03, realizado en la mina Caridad".

Los parámetros de "observación y medición" fueron obtenidos y registrados en formatos estándar diseñados por la empresa Lincuna para propósitos del estudio adecuándolos a las normas sugeridas por la "Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas" (I.S.R.M.). Entre los parámetros evaluados en estos registros geomecánicos. Podemos destacar "tipo de roca, tipo de estructura. orientación de discontinuidades, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno. Espesor del relleno, grado de alteración y condición de agua subterránea".

### **Ensayos de Campo.**

Estos ensayos se realizan como parte del mapeo geomecánico con el objetivo de estimar datos sobre de resistencia a compresión uniaxial de la roca usando "el martillo de rebote y la picota de geólogo" (Anexo 8, fotos: A-H), estimar el coeficiente de rugosidad de juntas (JRC) y la resistencia a compresión en la pared de discontinuidades estructurales (JCS) usando como instrumentos "el rugometro y el martillo de rebote" como se muestran en el Anexo 8 "fotos". Además, se realizó mediciones directas en la masa rocosa para estimar el índice de calidad de roca "RQD" mediante determinación del número de discontinuidades por metro cúbico usando la formulación propuesta por Palmstrom ( $RQD=115-3.3*J_v$ ; donde  $J_v$  representa el número de discontinuidades presentes en un metro cúbico de

volumen de roca. Estas estimaciones se pueden apreciar en el Anexo 8 "fotos".

### **Logueo Geotécnico de Sondajes Diamantinos.**

Se ha realizado el logueo geotécnico de sondajes diamantinos. Para caracterizar el macizo rocoso a partir de la longitud del sondaje logueado. Los parámetros de "observación y medición" fueron obtenidos y registrados en formatos estándar diseñados por la empresa Lincuna para propósitos del estudio adecuándolos a las normas sugeridas por la "Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas" (I.S.R.M.). Entre los parámetros evaluados en estos registros geomecánicos. Podemos destacar "tipo de roca, tipo de estructura, espaciado, persistencia, apertura, rugosidad, tipo de relleno. Espesor del relleno, grado de alteración y condición de agua subterránea".

#### **4.1.2.3. Investigación Geomecánica de Laboratorio.**

El programa de investigaciones geomecánicas en laboratorio para propósitos del Estudio, ha sido realizado sobre muestras seleccionadas en los "dominios geomecánicos de interés" para el diseño de explotación, especialmente se han seleccionado muestras situadas en "caja techo, estructura mineralizada, caja piso" en cada una de las minas. Estas muestras han sido ensayadas en el "Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Tecsup", el mismo que cumple con los estándares que establece la "American Society for Testing Material" (A.S.T.M.).

Los ensayos de Mecánica de rocas, se han desarrollado sobre bloques de "roca intacta y discontinuidades estructurales", según las

especificaciones técnicas y requerimientos de ensayos que previamente se definieron durante los trabajos de mapeo geomecánico.

Los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Tecsup, fueron los que se muestran en el siguiente listado:

- Constantes elásticas (ASTM 0-4767).
- Compresión uniaxial (ASTM 0-4767).
- Compresión triaxial (ASTM D-2664-95).
- Propiedades físicas (ASTM C-97-02).
- Compresión simple (ASTM D7012 – 14e1/ ASTM D2938/ ISRM)
- Corte Directo (ASTM D5607/ ISRM).
- Compresión triaxial (ASTM D7012 – 14e1/ ASTM D2664/ ISRM)
- Carga puntual (ASTM D5731/ ISRM)
- Tracción indirecta (ASTM D3967)
- Constantes elásticas (ASTM D3148/ISRM)

Se aprecian los códigos de las muestras ensayadas, su ubicación referencial, los tipos de ensayos solicitados y los parámetros de interés en cada uno de los ensayos.

#### **4.1.2.4. Caracterización Geomecánica**

##### **a) Aspectos Litológicos.**

Los dominios "lito-estructurales" conceptuados en los trabajos de investigación geomecánica de campo mostrados en los Anexo "1, 2, 3", evidencian a nivel local (Hércules, Coturcan y Caridad) la presencia de un tipo de litología predominante constituida por niveles intercalados de "flujos de lava, tufos, brechas y piroclastos" de

composición típicamente andesítica y en sectores de composición dacítica pertenecientes al "grupo calipuy".

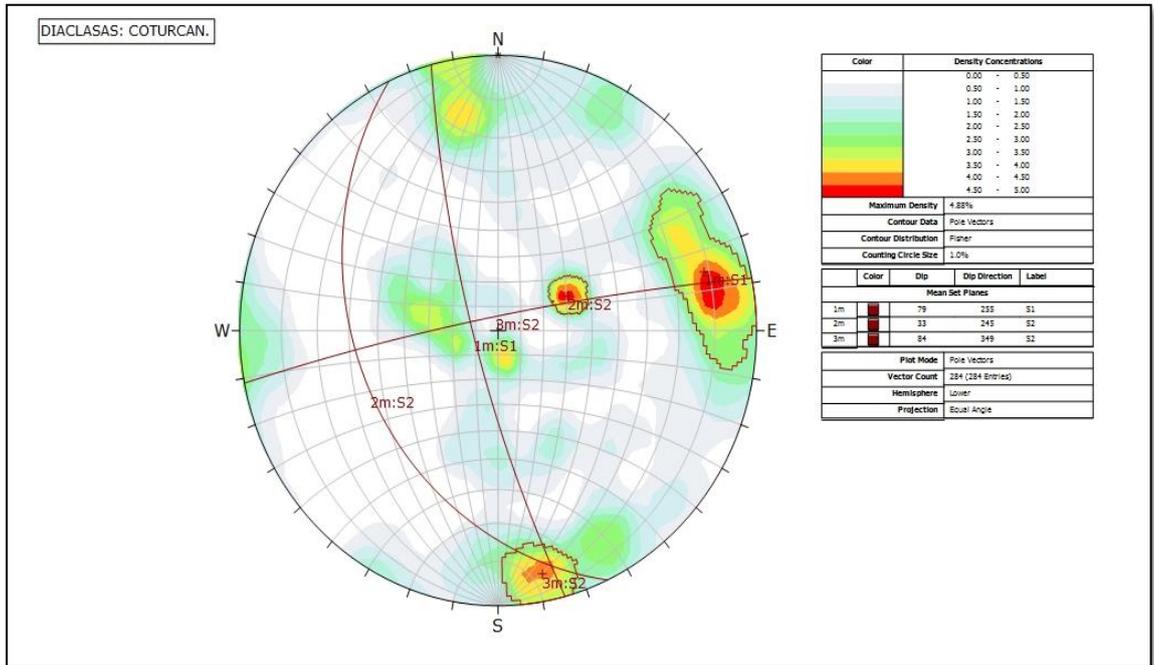
**b) Distribución de discontinuidades.**

Para establecer las características de la distribución espacial de las discontinuidades estructurales (diaclasas) durante el mapeo geomecánico se tomaron registros del "tipo de discontinuidad, la orientación (d-dip//dip) de las discontinuidades". Estos datos orientacionales se han procesado estadísticamente empleando la técnica de proyección estereográfica equiangular, utilizando como herramienta el software "DIPS, versión 6.008 de Rocscience Inc.2013". Los resultados del análisis estereográfico de discontinuidades estructurales (diaclasas y fallas). En la tabla 02, se aprecian resultados de la distribución espacial promedio de los principales sistemas de diaclasas presentes en cada "dominio lito-estructural" (caja techo, estructura mineralizada y caja piso) de las zonas de interés.

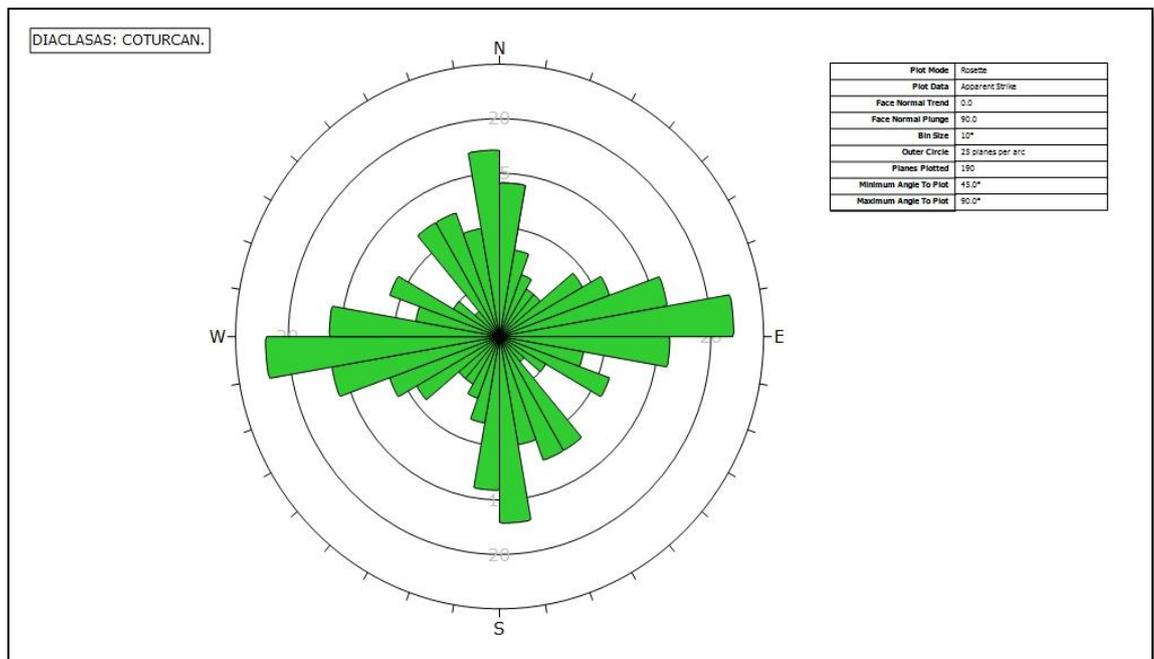
**Tabla 2**  
*Principales Sistemas de Diaclasas*

<b>ZONA</b>	<b>DOMINIO ESTRUCTURAL</b>	<b>SISTEMA DE DISCONTINUIDAD ESTRUCTURAL</b>		
		<b>SISTEMA 1</b>	<b>SISTEMA 2</b>	<b>SISTEMA 3</b>
<b>CORTURCAN</b>	<b>Caja techo, caja piso y estructura</b>	<b>255/79</b>	<b>245/33</b>	<b>349/84</b>
<b>Nota: El sistema de discontinuidad estructural se denota como Dirección de Buzamiento/Buzamiento</b>				

**Ilustración 6.**  
Diaclasas Coturcan.

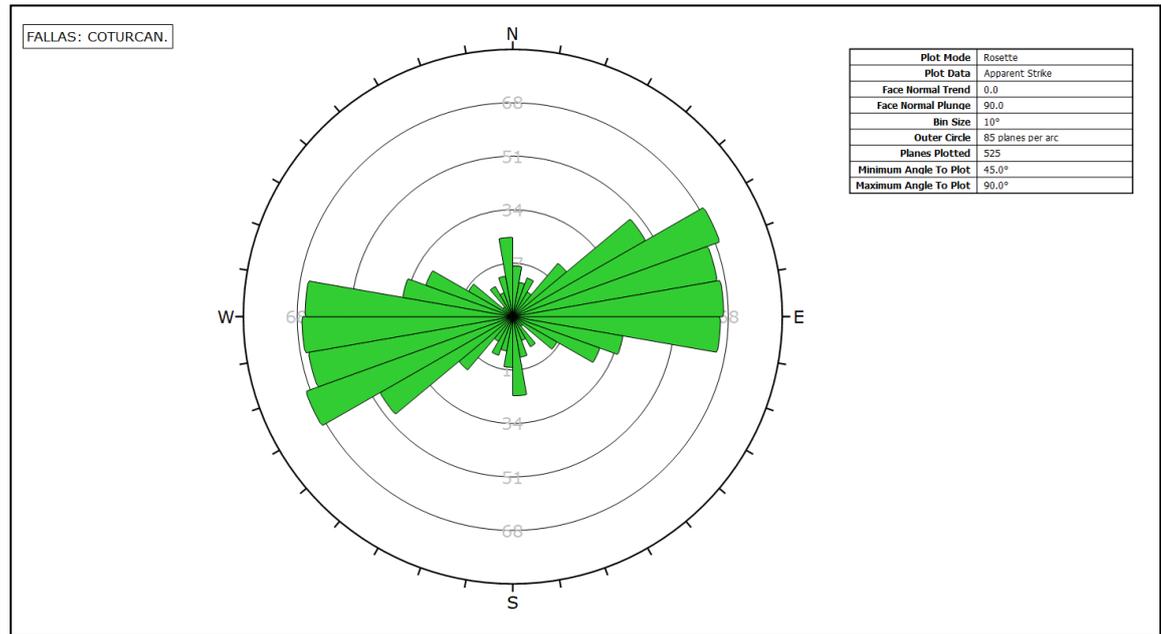


**Ilustración 7.**  
Diagrama de rosetas - Sistemas de diaclasas Coturcan.



### Ilustración 8.

Diagrama de rosetas - fallas Coturcan.



#### c) Aspectos Estructurales.

En este acápite se exponen a modo muy resumido las características más relevantes de los aspectos estructurales, cartografiados durante los trabajos de "mapeo geológico-geomecánico" de afloramientos rocosos en superficie y excavaciones subterráneas. Las características estructurales promedias de fallas (estructuras mayores) y diaclasas (estructuras menores) se describen de la siguiente manera.

#### Fallas.

Las características de fallas presentes en el área de interés "Coturcan" presentan espaciamientos variables por lo general mayores a >2 metros, con una persistencia que va desde unas decenas de metros a cientos de metros, con aperturas muy abiertas "abiertas > 5mm", paredes de

discontinuidad "lisas, ocasionalmente exponen espejos de falla y ligeras ondulaciones". Estas fallas por lo general presentan rellenos del "tipo milonitas completamente disturbadas y alteradas, comúnmente se les denomina "rellenos panizados" de espesor variable entre "0.05 metros hasta 1.2 metros", la influencia de estas fallas en el comportamiento de la roca varía desde unos centímetros hasta unas decenas de metros, superficialmente se aprecian "alteradas a muy alteradas" con presencia del agua en las paredes de discontinuidades a modo "húmedo, mojado y ocasionalmente presencia de goteo moderado".

Es necesario precisar que en las estructuras mineralizadas "Hércules y Coturcan" las fallas "paralelas y sub-paralelas al rumbo de las estructuras" están situadas en los "contacto caja piso falla del mineral y falla-contacto caja techo del mineral", se exponen en toda la extensión de la estructura mineralizada (representan un control estructural importante de la mineralización en el rumbo). Una característica más a resaltar de estas fallas, es que tanto en las cajas como en la estructura mineralizada se han generado dominios geomecánicos de baja calidad mostrándose a modo de milonitas y/o debilitamiento de los parámetros de resistencia de discontinuidades e incremento del grado de fracturamiento, con zonas de alteración que van desde "moderada a intensa", presencia de humedad moderada a intensa que complican la estabilidad de las excavaciones. Las fallas transversales al rumbo de las estructuras mineralizadas en los sectores evaluados se caracterizan por presentar "zonas de corte" potencialmente inestables a modo de cuñas de gran volumen formados con los ejes de excavación.

#### **d) Clasificación de la masa rocosa**

El proceso de clasificación geomecánica de la masa rocosa para los propósitos de este estudio implica "analizar e interpretar" la información desarrollada en la etapa de "investigación geomecánica", el cual fue obtenido durante los trabajos de campo usando el sistema de "Clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, Modificado por Romana, 2000".

Los valores de resistencia a compresión uniaxial de la roca fueron estimados usando "el martillo de rebote y la picota de geólogo". A, B, los valores del índice de calidad de roca "RQD" fueron determinados mediante el registro volumétrico de discontinuidades utilizando la relación propuesta por "Palmstrom", adicionalmente con fines del estudio se realizaron estimaciones del coeficiente de rugosidad de juntas y la resistencia a compresión uniaxial de las paredes de la discontinuidad, como datos para los análisis de estabilidad estructuralmente controlada.

Como se refirió líneas arriba el criterio adoptado para clasificar a la masa rocosa en este estudio es el "Sistema de clasificación geomecánica RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000" cuyo rango de valoración se aprecia en la tabla 04". El objetivo de emplear este criterio de valoración es discretizar (sub-dividir) la masa rocosa en rangos más ajustados y evitar errores de "sobre-

estimación-sub-estimación" de su calidad geomecánica para tener una mejor aproximación hacia el diseño del sostenimiento.

**Tabla 3.**

*Criterio de valoración "RMR89 de Bieniawski, modificado por Romana, 2000".*

TIPO DE ROCA	RANGO DE VALORACIÓN "RMR"	CLASIFICACIÓN "RMR" DE LA MASA ROCOSA
II A	71 - 80	BUENA A
II B	61 - 70	BUENA B
III A	51 - 60	REGULAR A
III B	41 - 50	REGULAR B
IV A	31 - 40	MALA A
IV B	21 - 30	MALA B
V	< 20	MUY MALA
Nota: Clasificación "RMR", modificada según la Romana 2000.		

La clasificación geomecánica de la masa rocosa para los propósitos del estudio en la mina Coturcan, y su entorno físico se ha obtenido a partir del "proceso, análisis e interpretación" de información proporcionada como resultado del cartografiado litológico-estructural en afloramientos de superficie y registros del mapeo geomecánico realizado en afloramientos de superficie e interior mina.

**e) Zonificación Geomecánica**

Esta clasificación geomecánica "RMR<sub>89</sub> de Bieniawski modificada por Romana el 2000" que presenta la masa rocosa en los distintos dominios geomecánicos encontrados (Tabla 05) en resumen se definen de la siguiente manera:

### **Mina Coturcan.**

- Caja techo (RMR: 65-35). - Esta potestad se compone litológicamente por “flujos lávicos intercalados con niveles piroclásticos” de constitución andesítica con estructuras porfíricas (sobre todo los niveles piroclásticos), de matices que van desde "violáceas a grisáceas". Estructuralmente se representa como un material fragmentado (RQD: 50-75), en secciones exactos sobre todo hacia el contacto caja techo-falla, se muestra muy fracturado (RQD: 35-45); una resistencia a la compresión simple variable entre los "130-60 Mpa"; las características de las interrupciones estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los "0.6-0.2 metros y 0.2-0.06 metros", una permanencia variable entre los ">20 metros, 20-10 metros, 3-10 metros"; las aperturas entre las paredes opuestas de las discontinuidades son variables en las diaclasas va entre los "5.0-1.0 mm, 1.0-0.1 mm, < 0.1 mm"; las superficies de las discontinuidades estructurales se muestran "rugosas, ligeramente rugosas a lisas (fallas)"; en cuanto al material presente entre las discontinuidades, éstas se encuentran limpias, en ocasiones presentan rellenos duros (cuarzo, sulfuros) y suaves (óxidos, carbonatos); las paredes de las discontinuidades se muestran "ligeramente alteradas, alteradas hasta muy alteradas hacia el contacto caja techo-falla"; superficialmente se muestran "secas a parcialmente húmedas" y eventualmente presentan goteo en zonas muy puntuales. La falla caja techo presenta una apertura

mayor a 5mm, con rellenos blandos (material brechado y óxidos), húmedos, con aperturas "> 5 mm"; también muestra superficies "ligeramente rugosas a lisas", superficialmente se aprecian "húmedas a mojadas", de baja resistencia a los esfuerzos de corte.

- Estructura mineralizada (RMR: 55-35).- Este potestad se compone litológicamente por una agrupación de minerales de "sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzo" ubicados en una central volcánica .Estructuralmente se tipifican como un material fracturado (RQD 50-75) y en sectores se expone muy fracturado (RQD: 35-45); presentan una resistencia a la compresión simple variable entre los "120 – 45 Mpa", hacia los contactos "caja piso y caja techo" la resistencia disminuye entre los "30-40 Mpa". Las características de las discontinuidades organizados en promedio muestran un espaciamiento que varía entre "0.2 - 0.6 metros, 0.06-0.20 metros"; una persistencia variable entre los "10-20 metros, 3-10 metros, 1-3 metros"; las aperturas entre las muros de las discontinuidades varían entre los ">5mm, 1-5mm, 0.1-1.0 mm y <1.0 mm"; las superficies de las discontinuidades varían desde "muy rugosas, rugosas, ligeramente rugosas a lisas sobre todo hacia el contacto falla piso-techo"; en todo lo que al material existente entre las muros de las discontinuidades (relleno) éstas se encuentran repletadas con material suave (carbonatos, óxidos y material brechado) y como rellenos duros (cuarzo, sulfuros primarios); muestran superficies de discontinuidades

"ligeramente alteradas, alteradas a muy alteradas"; superficialmente se muestran "húmedas" y en sectores muy puntuales se observa la presencia de "mojado" presumiblemente asociado a infiltración de aguas superficiales.

- Caja piso (RMR: 65-35). - Este dominio se constituye litológicamente por lavas y tufos volcánicos de composición andesítica con texturas afaníticas a porfiríticas, de tonalidades que van de "verdosas a grisáceas". Estructuralmente se tipifica como un material fracturado (RQD: 50-75) y en sectores muy puntuales sobre todo hacía el contacto falla piso se muestra muy fracturado (RQD: 35-50); presenta una resistencia a la compresión simple variable entre los "110-50 Mpa", en el contacto falla caja piso la resistencia es "< 20 Mpa". Las características de las discontinuidades estructurales en promedio presentan un espaciamiento que varía entre los "0.6 - 0.2 metros y 0.2-0.06 metros, hacia el contacto caja piso-falla presenta un espaciamiento < 0.06 metros); muestra una persistencia variable entre los ">20 metros, 20-10 metros. 3-10 metros 1-3 metros "; las aperturas entre las paredes opuestas de las discontinuidades son variables en las diaclasas va entre los "5.0-1.0 mm, 1.0-0.1 mm, < 0.1 mm"; las superficies de discontinuidades se presentan "rugosas, ligeramente rugosas y ligeramente lisas hacía el contacto caja piso-falla"; en cuanto al material presente entre las paredes de las discontinuidades éstas se muestran "limpias o en su defecto presentan rellenos suaves de espesor "<5

mm"; las paredes de las discontinuidades se exponen "ligeramente alteradas, alteradas"; superficialmente se muestran "secas, húmedas hacia el contacto con la caja piso-falla, eventualmente se muestran a modo de goteo puntuales presumiblemente asociados a filtraciones del agua de infiltración". La "falla caja piso" se caracteriza por presentar una apertura ">5mm (hasta variable hasta los 0.80 metros). Rellenadas con material de textura brechada, alteradas de comportamiento plástico, superficialmente se aprecian "secas a parcialmente húmedas, con presencia de goteo en sectores muy puntuales".

#### **4.1.2.5. Condiciones de agua subterráneas**

Las principales formaciones geológicas de las unidades productoras Hércules, Coturcan y Caridad son rocas volcánicas y se consideran impermeables desde el punto de vista hidrogeológico. La estructura principal del proyecto es la falla Hércules paralela a la quebrada del mismo nombre, mientras que la falla Infiernillo se encuentra sobre la falla Hércules, de esta falla principal se desprenden fracturas de diferente secuencia y orientación, las cuales no son importantes en la mina, por ejemplo, se encuentran por debajo de los 4500 metros sobre el nivel del mar. En términos generales, todos los niveles de agua están libres de aguas subterráneas.

#### 4.1.2.6. Factores de Seguridad.

El factor de seguridad mínimo para el análisis de estabilidad se determina en el estudio según el tipo de análisis (método empírico. Modelado numérico 2D con software Phases2 y análisis de estabilidad de control estructural con software Unwedge), determinación del factor de seguridad (Stability Criterion) mostrados en la tabla siguiente.

**Tabla 4.**  
*Factores de seguridad - Diseño subterráneo Mina.*

MÉTODO DE ANÁLISIS	CRITERIO DE ESTABILIDAD
Método gráfico de estabilidad (M.G.E)	F.S > 1.5
Método de elementos finitos (M.G.F)	F.S > 1.1
Método de equilibrio límite (M.E.L)	F.S > 1.5

*Nota: Factor de seguridad del diseño.*

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

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Evaluación del Sostenimiento

#### 4.2.1.1. Establecimiento de las direcciones preferenciales del Minado.

Del análisis estereográfico desarrollado en el acápite 4.1.2.4, la información resultados de "zonificación geomecánica de planta y perfiles transversales al rumbo de las estructuras mineralizadas" en cada uno de las

zonas de explotación de la Mina Coturcan, como se aprecia en diferentes planos de zonificación geomecánica, la estimación de la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, se estima que las direcciones preferenciales del minado deberían tener una configuración "transversal al rumbo de las estructurales mineralizadas" desde el punto de vista geomecánico, aun cuando esta orientación se configure paralelo a uno de los sistemas de discontinuidades estructurales en los dominios "Caja techo, Estructura mineralizada y Caja piso" de las zonas. Sin embargo, por razones netamente operativas la empresa viene desarrollando el minado en dirección longitudinal al rumbo de las estructuras mineralizadas. Este punto debe ser tratado con mayor amplitud sobre todo en tópicos orientados a la optimización del método de explotación a mediano plazo.

#### **4.2.1.2. Tiempo de "Auto-Soporte vs. Calidad RMR 89" de la Masa Rocosa.**

De la investigación geomecánica desarrollada en el capítulo IV, se obtiene que la masa rocosa en las áreas de interés (estructuras mineralizadas y su entorno físico) se caracterizan por la presencia de varios dominios geomecánicos, donde las dimensiones de las excavaciones para "Desarrollos, Preparación y Explotación" en la Mina han sido establecidos sobre la base de criterios operacionales utilizando las dimensiones de los equipos (Perforadoras, Camiones, Scooptram, etc.) y estándares de diseño promedio para aplicación de Minería Trackless. Si bien esto es cierto, el tamaño de acceso no está regulado por normas técnicas, ya que está relacionado con los parámetros de funcionamiento del dispositivo y su desempeño. La excavación en roca con técnicas tradicionales (perforación

y voladura) puede causar daños importantes en el macizo rocoso, lo que reduce significativamente sus parámetros de resistencia, lo que contrasta con el daño al macizo rocoso que provocan las nuevas técnicas de excavación (minería continua con equipos tipo TBM) en el menos. Cuantificar la extensión de los daños asociados al proceso de voladura implica una evaluación "cualitativa y cuantitativa" del impacto causado.

En el alcance del Estudio, sólo se establecen algunas directrices que permitan evaluar el nivel de daño generado por voladura como se describe en el acápite siguiente.

**A. Efecto de la perforación y voladura en la calidad "RMR89" de la masa rocosa.**

La voladura definida como "un proceso de rotura de rocas mediante el uso de energía explosiva", genera daños en la masa rocosa, con efectos muy negativos para la estabilidad. La no aplicación de técnicas adecuadas como "pre corte y recorte" durante el proceso de voladura en minas frecuentemente está asociado al "desconocimiento de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso". Estas malas prácticas de voladura generan niveles de daños considerables que influyen en la inestabilización excavaciones realizadas en la masa rocosa; algunos de los daños inducidos a la roca durante el proceso de voladura son:

- Apertura de discontinuidades pre-existentes (disminución de la resistencia al esfuerzo de corte entre las paredes de las discontinuidades).
- Creación de grietas (incrementa el grado de fracturamiento).
- Reducción de los módulos elásticos.

- Propagación de fracturas pre-existentes.
- En términos generales representa una reducción significativa de los parámetros de resistencia (módulos elásticos, cohesión y fricción) de la masa rocosa.
- Degrada de la calidad geomecánica del macizo rocoso.

Para ajustar el valor del RMR (después del proceso de voladura), es necesario el uso de aproximaciones empíricas que permitan valorar cuantitativamente el nivel de daño. En las curvas de aproximaciones empíricas que ayudan a predecir la valoración RMR89 después de realizada la voladura. Estas curvas aproximadas para evaluar la reducción de la calidad geomecánica "RMR" de la masa rocosa permiten estimar el nivel de daño (CB) en función a la velocidad pico de partícula del explosivo empleado para romper la roca cuya valoración RMR inicial será disminuido por el daño.

Para determinar el "Tiempo Máximo de Apertura y Retención" para la minería, se debe hacer una corrección del macizo rocoso utilizando la aproximación empírica que se muestra en la Fig. 43, que determina el factor de corrección por daño de voladura "CB"), que en última instancia debe obtenerse por este factor "RMR ajustado" ( $RMR_{ajustado} = CB * RMR_{antes\ de\ la\ voladura}$ ), cuyo valor "Tiempo máximo de apertura y de autotransporte" debe ser. estimado. Esta acción debe realizarse con prontitud. El responsable del Departamento Geotécnico junto con el operador determinará finalmente el "tiempo máximo de apertura y autorretención" del RMR personalizado.

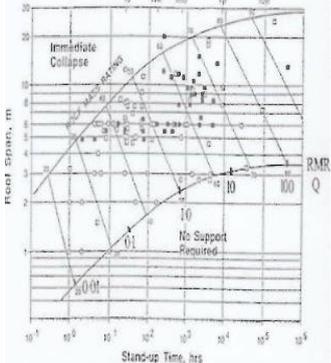
Para efectos didácticos en esta sección, la evaluación de “tiempo máximo de apertura y tiempo de autosostenimiento” se hace por el valor de un RMR89 sin explotar; cabe señalar que este es sólo un método y debe ser utilizado por el personal técnico de la empresa. Nivele el daño, ajuste el "RMR" y finalmente configure el "Tiempo máximo de apertura y soporte automático \*" para ajustar el daño de explosión al RMR.

Con base en el análisis estereoscópico de las discontinuidades estructurales (fallas y diaclasas) en el macizo rocoso y la evaluación conceptual de los modos de falla (Sección 5.8), se puede predecir la aparición de áreas potencialmente inestables desde el punto de vista del control estructural. Para efectos de este estudio, fue necesario determinar el tipo de soporte a utilizar (soporte de piedra o refuerzo) dependiendo del carácter "temporal o permanente" de la excavación. Para este propósito resulta fundamental definir "El Tiempo de Autosostenimiento vs Abierto Máximo" el cual se fundamenta en el ábaco de Bieniawski (tabla 30); este ábaco asocia las "Abertura máximas y el tiempo de Auto-soporte" asociados a una calidad de roca, con el valor de "Abertura máxima" se ingresa a "Abaco de Bieniawski", para obtener el "Tiempo de Auto-soporte" en los rangos de "Calidad RMR89 de Bieniawski, modificada por Romana 2000" que expone la masa rocosa en el área de interés, en función a la calidad de masa rocosa para excavaciones "temporales y permanentes"

**Tabla 5.**

*“Aberturas máximas vs Tiempo de Auto-soporte” M.R. sin daño.*

TIEMPO DE AUTOSOPORTE ABIERTO MAXIMO – MINERA LINCUNA						
CODIGO	TIPO DE ROCA	RMR	ABIERTO MAXIMO SIN SOPORTE LABOR PERMANENTE (M)	ABIERTO MAXIMO SIN SOPORTE LABOR TEMPORAL (M)	TIEMPO DE AUTO SOPORTE (DIAS)	
	BUENA “A”	71 – 80	13	16	100	120
	BUENA “B”	61 – 70	6	8	60	40
	REGULAR “A”	51 – 60	3	3	15	10
	REGULAR “B”	41 – 50	3	3	2	2
	MALA “A”	31 – 40	2	2	10 hrs	8 hrs
	MALA “B”	21 – 30	1	2	6 hrs	6 hrs
	MUY MALA “A”	<21	1	2	4 hrs	2 hrs



Nota. “Los tiempos de auto-soporte y aberturas máximas” determinadas en esta cartilla para “Compañía minera Lincuna” Solo son válidos para trabajos donde se hayan implementado prácticas adecuadas de voladura (uso de técnicas de precorte y/o corte) y donde estos procedimientos deben ser aprobados y verificados por el Departamento de Minas.

**“LA VOLADURA ES UN INSTRUMENTO DE CORTE ... NO UN BOMBARDEO”**

Es obligatorio demarcar que las "Aberturas máximas" y el "Tiempo de auto-soporte" no necesariamente efectúan los requisitos de grietas propias del minado, referente a las labores de los desarrollos

(Rampa:4.5m x 4.0m, Crucero:4.0m x 4.0m, By Pass: 4.0m x 4.0m, 4.0m x 3.5m), trabajos de preparación para explotación (Subniveles:4.0m x 4.0m) y labores de explotación (Tajos: 3.0-10.0m de ancho x 4.0-7.0m de altura), estas dimensiones en algunos casos son menores y en otros mayores a las dimensiones estimadas con el ábaco de Bieniawski.

Por otro lado, a partir el punto de vista de la Seguridad, una operación minera eficaz debe observar el "avance estandarizado". En muchas ocasiones operacionalmente se mal interpreta el "Tiempo de Auto-soporte", desistiendo de labores abiertas sin sustento; estas labores conforme transcurren el tiempo en los bordes de las excavaciones se comienzan a deteriorar disminuyendo significativamente sus parámetros de resistencia, debido a causas múltiples "esfuerzos, agua, vibraciones, humedad, carencia de ventilación entre otros". Esta situación de inestabilidad finalmente hace que la Operación Minera, tenga que programar de manera imprevista la colocación del SOSTENIMIENTO, formando pérdidas en el proceso minero. En base a la experiencia se puede acotar "desde el punto vista "técnico-económico" es favorable instalar el sostenimiento en forma "oportuna", indistintamente cual sea el carácter "temporal o permanente de la excavación", con la finalidad de buscar el equilibrio "tenso-deformacional" en la masa rocosa y evitar su descompresión (buscar el restablecer el equilibrio de inmediato).

Finalmente de la tabla 30, es necesario precisar que "Las Aberturas Máximas y El Tiempo de Autososte" estimado en función al ábaco

de Bieniawski, corresponden a una masa rocosa sin niveles de daño generados por voladura; para estimar las "Aberturas y Tiempos de Autosuporte" basados en el criterio de daño al macizo rocoso deberán realizarse "auscultaciones e investigaciones del nivel de daño" que finalmente permitan estimar el factor de daño, ajustar el "RMR" y finalmente establecer "Aberturas máximas y Tiempos de Autosuporte" considerando los efectos de la voladura.

### **4.3. Prueba de Hipótesis**

Se efectúa de acuerdo a las variables:

Independiente y dependiente, que fueron determinada y por lo cual se acepta la hipótesis en la que se efectúa el Estudio Geomecánica para aplicar el Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan – Compañía Minera Lincuna S.A.

- **H0:** Estudio Geomecánico para efectuar el sostenimiento en la Mina Coturcan.
- **H1:** Sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.

### **4.4. Discusión de Resultados**

#### **4.4.1. Consideraciones Técnicas para la Aplicación del Sostenimiento**

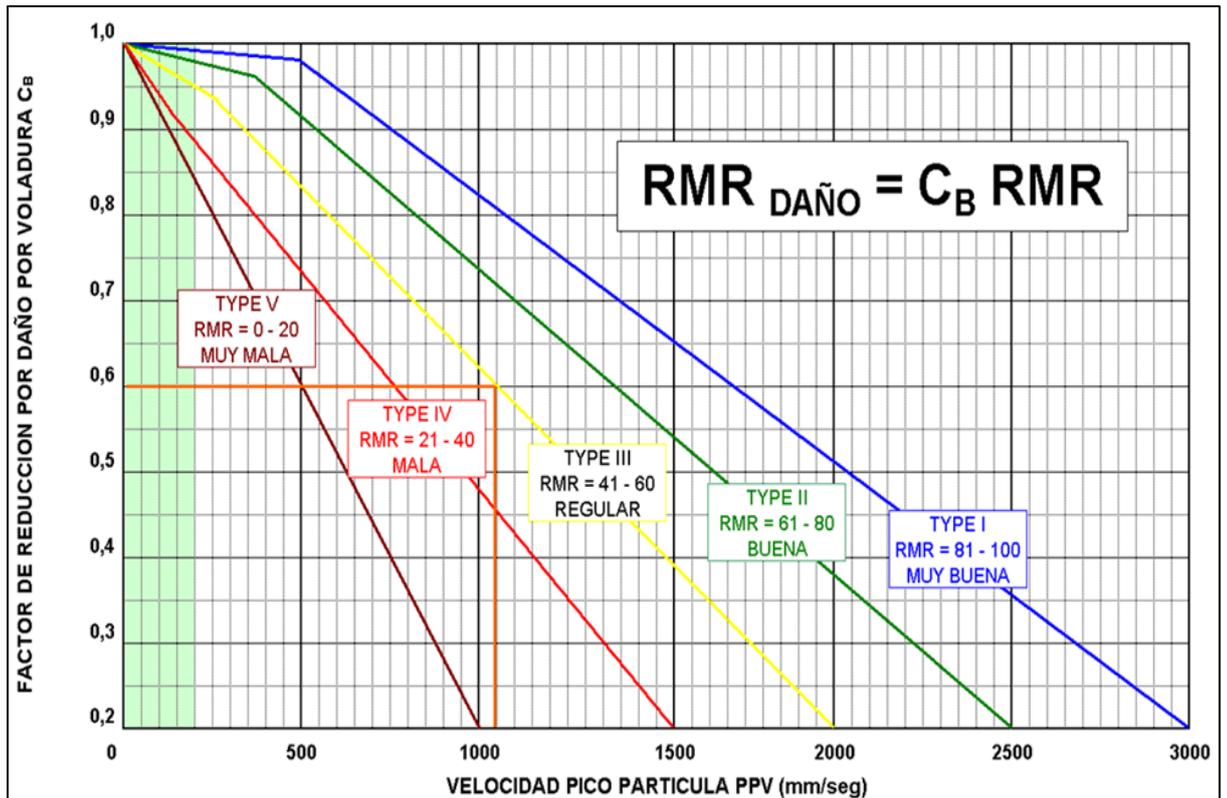
En base a la evaluación geomecánica, los tipos de sostenimiento aplicables a las condiciones geomecánicas que presenta la masa rocosa en sus distintos Dominios geomecánicos en la Mina serán:

- Concreto lanzado (shotcrete vía húmeda)
- Pernos helicoidales con inyección de cemento a columna completa (no usar cartuchos de cemento).

- Malla electro soldada de cuadrícula 10 x 10 cm (alambre N°08).
- Marcos metálicos (cimbras) completamente elementadas.
- Pernos de fricción.
- Pernos expansivos.
- Cuadros de madera.
- Paquetes de madera (Wood Packs).

**Ilustración 9:**

RMR ajustado por daños de voladura.



**4.4.1.1. Concreto lanzado (Shotcrete Vía Húmeda).**

**Alcances.** - El concreto lanzado se instalará en toda la geometría de las excavaciones según especificaciones dadas en la cartilla geomecánica de la Mina (Galerías, Subniveles, Rampas, Cruceros e Inclinados).

**Marco de referencia.** - Las normas listadas en su versión más reciente, forman parte de estas consideraciones técnicas:

- ACI-214: Práctica recomendada para evaluar ensayos a la compresión en probetas de concreto.
- ACI-506R-90: Guía del shotcrete.
- ACI-506.1 R: Estado del Arte en Shotcrete reforzado con

fibras de acero.

- ACI-506.2R: Especificaciones para materiales, proporción de mezcla y aplicación del shotcrete.
- ACI-506.3R: Guía para la certificación de los operarios del shotcrete.
- ASTM-A820: Especificaciones para las fibras de acero.
- ASTM-C1116: Especificaciones para el Concreto reforzado con fibra de acero.

**Descripción técnica-** El shotcrete que se aplicaba era por vía seca, debido a la coyuntura actual se efectúara por vía húmeda, el cambio se da luego de efectuado el estudio geomecánico, sin embargo su implementación a la Mina Coturcan el sostenimiento con shotcrete por vía húmeda para reducir los riesgos de caída de roca con un sostenimiento oportuno, además de reducir el nivel de rebote y los problemas de polucion, siguiendo las Normas ASTM C1116-89, ACI 506.2-77, ACI 506.1R-84 y ACI 506-85. Se aplicará el shotcrete en una o más capas hasta alcanzar el espesor final especificado en los cuadros de sostenimiento y planos. El shotcrete en general, tendrá siempre microsílca ya sea en los que tienen fibras de acero y/o sin fibra de acero.

El shotcrete estará compuesto de cemento, agregados, agua, fibras de acero y microsílca:

- Cemento. - El cemento y el agua deben cumplir las normas especificadas.

- Microsílica. - Para mejorar la resistencia del shotcrete se tiene que prever el uso de microsíllica, la que será suministrada en forma dosificada. Cumpliendo con los siguientes requerimientos:
- Fineza: El área superficial no será menor que 18,000 m<sup>2</sup>/kg.
- Tamaño de partículas: 0.2 micrones en promedio.
- Que pasa por la malla 325: Mayor que 99%.
- Contenido de SiO<sub>2</sub>: No menor que 92-94%.
- Contenido de C: No mayor que el 5%.
- Contenido total de Álcalis: No mayor que 1.5%.

Una vez combinada con el cemento, el contenido total de álcalis no será mayor que 0.6%. La adición de microsíllica se efectúa en porcentaje del peso del cemento, en el rango de 10 a 15 por ciento. Su inclusión, por lo general, elimina la necesidad de usar acelerantes para lograr alta resistencia a edades tempranas (1 a 3 días). Reduce las pérdidas por rebote y permite aplicar espesores de shotcrete en capas más gruesas en una sola pasada o aplicación.

**Fibras de acero.** - Las fibras de acero cumplirán con la Norma ASTM 820 tipo "I" u otras aceptables por el supervisor, con una resistencia última de 35 Mpa. La dosificación de las fibras en peso no será inferior a 20 Kg/m<sup>3</sup>.

El shotcrete tendrá una resistencia a la compresión correspondiente a lo indicado en la Norma ASTM C39, de 6 Mpa a las 8 horas, 21 Mpa a los 7 días y de 35 Mpa a los 28 días. En general, los componentes correspondientes a la mezcla para el shotcrete estarán comprendidos en las siguientes proporciones:

- Contenido de cemento (kg/m<sup>3</sup>) 350 - 400.
- Microsílica (kg/m<sup>3</sup>) 30-50.
- Fibra de acero (kg/m<sup>3</sup>) 20-25.
- Proporción agregado/cemento 3 - 5.
- Relación agua/cemento 0.35 -0.45.

El fraguado del shotcrete debe cumplir con los siguientes límites:

- Tiempo de fragua inicial < 3 min.
- Tiempo de fragua final >12 min.

En base a las características geomecánicas de la masa rocosa en la Mina, el espesor mínimo de concreto lanzado se especificará en la Cartilla Geomecánica. El espesor de la capa de diseño se debe controlar mediante clavos (calibradores), los cuales se empotran directamente sobre la superficie de la roca a revestir antes del lanzado de shotcrete de modo tal que permita un mejor control de calidad del espesor de lanzado.

Para fines de los "ensayos de control de calidad del shotcrete", se debe considerar satisfactorio si cada resultado de los ensayos alcanza por lo menos el 75% de la resistencia especificada y si por lo menos los resultados de tres núcleos de un panel ensayado exceden al 85% de la resistencia a compresión simple del diseño. Para el caso de muestras cúbicas, el promedio de tres de ellas tomadas de un panel, será igual o mayor que la resistencia (f<sub>e</sub>) de diseño (35 Mpa).

## CONCLUSIONES

- En base a las estudio geomecánico del macizo rocoso se determinó el método de explotación y sostenimiento adecuado; los resultados obtenidos fueron: la elección del método de minado, Corte y Relleno Ascendente y el tipo de sostenimiento, Shotcrete vía húmeda mecanizado, en las diferentes labores subterráneas, generando una adecuada estabilidad de la mina Coturcan, para una calidad de roca tipos IIIB - IVA , con RMR en cajas de 45 a 50, en zona mineralizada, de RMR de 40 a 45.
- Las propiedades físicas y mecánicas que se analizaron del macizo rocoso en el laboratorio; volumen, densidad, humedad, grado de saturación, porosidad, absorción, entre otros y mediante el software de geomecánica sus parámetros: RQD, resistencia a la compresión uniaxial, espaciamiento, juntas, filtración de agua, que influyen en la determinación de un adecuado sostenimiento, las pruebas demuestran que la roca es de Tipo IIIB – 4A, para lo cual el sostenimiento adecuado es el Shotcrete vía húmeda.
- El sostenimiento con Shotcrete vía húmeda se complementa generando seguridad y estabilidad dentro de la Mina Coturcan; por otro lado la importancia y solución que nos brinda el shotcrete es muy necesaria, se lanza en lugares más inestables, su lanzando previene deslizamientos y caídas de rocas, generando una estabilidad oportuna.
- Considerando la rapidez y efectividad del Shotcrete vía húmeda, como un instrumento fundamental en el sostenimiento de labores, se considera al shotcrete como elemento importante para el control de caída de rocas y sostenimiento preventivo para las labores de desarrollo y producción.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un adecuado ciclo de minado para el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, para agilizar las operaciones y de esta manera incrementar la producción de la Mina Coturcan.
- Se debe estandarizar las labores que requieran sostenimiento con Shotcrete vía húmeda, para facilitar el ingreso de los equipos de shotcrete a las labores y así ejecutar los trabajos de manera más eficiente.
- Por ser el lanzamiento de Shotcrete vía húmeda una actividad, con contacto con cemento, agua y aditivo, los implementos de seguridad (EPP), deben ser cambiados con mayor frecuencia que en otras actividades como.
- Efectuar evaluaciones geomecánicas durante el proceso de explotación para cumplir los estándares de la Mina Coturcan, así mismo implementar medidas efectivas de drenaje a fin de minimizar los efectos negativos del agua que generan inestabilidad de la masa rocosa.
- Es recomendable efectuar un sostenimiento oportuno en las diferentes labores de la mina para generar estabilidad y evitar caída de rocas o inestabilidad en las labores por el tiempo de exposición, generando pérdidas económicas y atrasos en el proceso de producción por labores expuestas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Z. T. Bieniawski; ENGINEERING ROCK MASS CLASSIFICATIONS, A Wiley-Interscience Publication, 1989-1990, Canada.
- Barton, N. (1992- 1993). Predicting the behavior of underground openings in rock. New Delhi.
- Weiss F. y Córdova D. “Influencia de las condiciones naturales en la selección del método de explotación en minería subterránea”, Informe INGEMMET – 1991. Universidad Nacional de Ingeniería, Pruebas de Laboratorio de Mecánica de Rocas. Noviembre 2018.
- Hoek, E. (1999). Strength of rocks and rock masses. ISRM New Journal 5 (2), pg 12-26.
- Bath, C., y S. Duda. 1968. Secular Seismic Energy release in the circum pacific belt.
- Bernal, I., y H. Tavera. 2005. Evaluación de la sismicidad y distribución de la energía sísmica en Perú. IGP Boletín de la Sec. Geológica del Perú V 98 p 54-86
- Uchucchacua” Informe Técnico BISA – enero 1998.
- GONZALES DE VALLEJO L., INGENIERÍA GEOLÓGICA, Pearson – Prentice Hall, Madrid.
- GAVILANES J., Hernan & ANDRADE H., Byron; INTRODUCCION A LA INGENIERIA DE TUNELES – CARACTERIZACION, CLASIFICACION Y ANALISIS GEOMECANICO DEL MACIZO ROCOSO. A.I.M.R. Quito-Ecuador, 2004.
- GOODMAN Richard E. “INTRODUCTION TO ROCK MECHANICS”. Second Edition. University of California at Berkeley, 1989.
- KARZULOVIC A. “Sistemas de Calificación y Clasificación Geotécnica de Macizos Rocosos, Método del Índice GSI”.

KARZULOVIC, Antonio; SISTEMAS DE CALIFICACION Y CLASIFICACION  
GEOTÉCNICA DE MACIZOS ROCOSOS.

CORDOVA R. David. “Asesoramiento Geomecánico Mina San Cristóbal”, Informe  
visita 12 - 13 de Diciembre 2016.

Compañía Minera Buenaventura S.A.A. – UP. Uchucchacua: Departamento de  
Geología/Geomecánica – 2018

Exsa (2010). “Manual Práctico de Voladura” ultima Edición. Lima – Perú

Jungen Hofler y Jurg Schlump, “Concreto proyectado en la construcción de tuneles”  
“Introducción a la tecnología básica de Concreto Proyectado, Putzmeister  
(09/04)”

Ryan, T. “Concreto Lanzado” Nueva Serie IMCY/10 Instituto Mexicano de cemento.

ACI: “Guide To Shotcrete” American Concrete Institute, ACI – 506 R (1991-1993).

Bongiorno, F., (s/f). Índice de Calidad de la Roca RQD. Clasificaciones de los macizos  
rocosos según Barton, Bieniawski, Hoek y Brown. Universidad de los Andes.  
<http://bit.ly/2Ypza7h>.

## **ANEXOS**

*Anexo I.*

*Matriz de Consistencia*

<b>TÍTULO: “Evaluacion Geomecanica para optimizar el sostenimiento con Shotcrete via humeda de la Mina Coturcan - Compañia Minera Lincuna S.A.”</b>						
<b>Tesista: Bach. Julio Euclides, ALANIA MUÑOZ.</b>						
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TIPO Y NIVEL DE INVEST.</b>
<p><b>GENERAL:</b></p> <p>¿Es posible efectuar la Evaluación Geomecánica para optimizar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda de la Mina Coturcan en la Cía. Minera Lincuna S.A.?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>A. ¿La realización de la evaluación geomecánica determinara la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan?</p> <p>B. ¿La aplicación del sostenimiento con Shotcrete vía húmeda permitirá el control de la estabilidad de las labores en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna?</p>	<p><b>GENERAL:</b></p> <p>Efectuar la Evaluación Geomecánica para optimizar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda de la Mina Coturcan en la Cía. Minera Lincuna S.A.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>A. Realizar la evaluación geomecánica para determinar la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.</p> <p>B. Aplicar el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda para permitir el control de la estabilidad de las labores en la Mina Coturcan de la Cía. Minera Lincuna.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>La Evaluación Geomecánica optimizara el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan en la Cía. Minera Lincuna S.A.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>A. La Evaluación Geomecánica determinara la zonificación y el sostenimiento con Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.</p> <p>B. El sostenimiento con Shotcrete vía húmeda permitirá el control de la estabilidad de las labores en la Cía. Minera Lincuna.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE</b></p> <p>X: Evaluación Geomecánica para optimizara el sostenimiento.</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b></p> <p>Y: Shotcrete vía húmeda en la Mina Coturcan.</p>	<p>Caracterización Geomecánica</p> <p>Parámetros geotécnicos</p> <p>Compañía Minera Lincuna.</p>	<p>Mapeos geomecánicos</p> <p>Determinación de las RMR</p> <p>Sostenimiento</p>	<p><b>TIPO:</b></p> <p>Aplicada.</p> <p><b>NIVEL:</b></p> <p>Evaluativa.</p>

## **Anexo 2.**

### *Descripción Petrográfica Macroscópica.*

#### **Muestra H-9**

Características generales:

- Coloración: Amarilla y tonalidades rojizas debido a la oxidación y lixiviación de la pirita.
- Textura: Afanítica, pero en algunos casos se puede observar plagioclasas porfíricas
- Estructura interna: Homogénea
- Densidad: Media
- Compacidad: Medianamente compacta

#### **Componentes minerales:**

Principalmente conformado por plagioclasas presentándose de forma masiva y cuarzo en poca cantidad, pirita de forma diseminada y masiva, la coloración rojiza son hematita y goethita producto de alteración y lixiviación de la pirita. También se observa una veta con contenido de platas rojas (parte central de la veta), galena y limolitas.

**Fase de unión:** Cemento silíceo

**Alteración:** La roca presenta moderada alteración argílica, dada por la presencia de arcillas. Además, intensa oxidación superficial.

**Tipo de roca:** Andesita oxidada.

**Coordenadas:** 8921237N, 221762E



## **Muestra H-10**

### **Características generales:**

- Coloración: Mesócrata, gris verdosa.
- Textura: Afanítica
- Estructura interna: Homogénea
- Densidad: Media
- Compacidad: Compacta

### **Componentes minerales:**

Conformado principalmente por plagioclasas y cuarzo en poca cantidad.

**Fase de unión:** Cemento silíceo

**Alteración:** La roca probablemente silicificada. Ligera alteración propilítica. Incipiente formación de oxidas según fracturamiento

**Tipo de roca:** Andesita

**Coordenadas:** 8921218N, 221689E



### **Muestra H-13**

#### **Características generales:**

- Coloración: Gris azulina.
- Textura: Brechoide.
- Estructura interna: Heterogénea
- Densidad: Media.
- Compacidad: Compacta.

#### **Componentes petrográficos:**

Conformado principalmente por clastos angulosos heterométricos de andesita.

**Fase de unión:** Cemento silíceo

**Alteración:** La roca se presenta brechada y posteriormente silicificada y cementada.

**Tipo de roca:** Brecha silicificada

**Coordenadas:** 8921237N, 221508E



## **Muestra H-17**

### **Características generales:**

- Coloración: Leucócrata
- Textura: Afanítica
- Estructura interna: Homogénea
- Densidad: Media
- Compacidad: Compacta

### **Componentes minerales:**

Conformado principalmente por plagioclasas y cuarzo.

**Fase de unión:** Cemento silíceo

**Alteración:** La roca se presenta silicificada asociada a venillas y con ligera alteración argílica. Oxidación en superficie, controlada según fracturas

**Tipo de roca:** Andesita silicificada.

**Coordenadas:** 8921293N, 221507E



## **Muestra H-41**

### **Características generales:**

- Coloración: Mesócrata, gris violácea
- Textura: Porfíritica media.
- Estructura interna: Masiva.
- Densidad: Media-Alta
- Compacidad: Compacta.

### **Componentes minerales:**

Conformado principalmente por fenocristales de plagioclasas y escaso cuarzo.

**Fase de unión:** Matriz volcánica conformada por finos cristales de plagioclasa con sectores afaníticos.

**Alteración:** La roca presenta venillas de epidota las que están asociadas a oligisto. Se presenta selectiva silicificación de la roca.

**Tipo de roca:** Pórfido andesítico.

**Coordenadas:** 8919909N, 221153E



## **Muestra H-45**

### **Características generales:**

- Coloración: Verdosa
- Textura: Afanítica
- Estructura interna: Masivo.
- Densidad: Media.
- Compacidad: Compacta.

### **Componentes minerales:**

Conformado principalmente por plagioclasas y escaso cuarzo, pero toda la roca está silicificada.

**Fase de unión:** Cemento silíceo.

**Otras características:** La roca presenta venillas de epidota, sericita, pirita con oxidación y minerales pequeños de jamesonita.

**Tipo de roca:** Andesita.

**Coordenadas:** 8919967N, 220081E



*Anexo 3.*  
*Panel Fotográfico.*

**Foto 001: Geomorfología glacial en la quebrada Hércules, se observan los depósitos de morrenas sobre las laderas, cubriendo en parte los afloramientos rocosos, además del valle típico en forma de “U”.**



**Foto 002: Afloramiento de brechas piroclásticas, correspondientes al volcánico andesítico superior. Se observa marcada pseudo-estratificación y diaclasamiento**



**Foto 003: Afloramiento del volcánico andesítico superior, se observa a la base en contacto curvado con la unidad inferior.**



**Foto 040: Área de emplazamiento de la Mina Coturcan**

