

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

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



**TESIS**

**Estudio geomecánico y su influencia en diseño de mallas perforación y  
voladura en Marsa – 2021**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor: Bach. Jose Carlos PARIONA FLORES**

**Asesor: Mg. Edwin Elías SÁNCHEZ ESPINOZA**

**Cerro de Pasco - Perú - 2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

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



**TESIS**

**Estudio geomecánico y su influencia en diseño de mallas perforación y  
voladura en Marsa – 2021**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS  
PRESIDENTE**

---

**Mg. Raúl FERNANDEZ MALLQUI  
MIEMBRO**

---

**Ing. Julio Cesar SANTIAGO RIVERA  
MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Con mucho aprecio y cariño, dedicado a Dios.  
También a mis padres Carlos y Elizabeth por su  
gran apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

Es momento de agradecer y reconocer a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas, de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, por sus conocimientos y experiencias brindadas.

De igual forma a todos los ingenieros y trabajadores de MARSА, por su gran apoyo y formidables recomendaciones para el avance y el término adecuado del trabajo de investigación.

También va mi reconocimiento y agradecimiento a mi Asesor Ing. Edwin Elías Sánchez Espinoza por sus orientaciones para la conclusión de la investigación y el informe final.

## RESUMEN

La perforación y voladura son actividades cotidianas en la actividad minera. Para realizar labores seguras se requiere del uso adecuado de la cantidad de explosivos de acuerdo a las características de la masa rocosa, por lo que para el trabajo de investigación planteamos como problema ¿Cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSÁ 2021? Por lo que como objetivo se planteó establecer cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en Minera Aurífera Retamas S.A. La investigación es del tipo aplicada, de nivel descriptivo y explicativo, se usó el método científico y el diseño fue el descriptivo comparativo. Como población se consideró a las labores horizontales del Nivel 3220 y como muestra al subnivel SN 3257-S y el crucero XC 9109-NE. Realizada la investigación se hizo el diseño de nuevas mallas de perforación y voladura en base al estudio geomecánico que indicó que las labores se encuentran en rocas de calidad IVA, mala. En el subnivel SN 3257-S, se ha reducido el número de taladros perforados en 10,3% y los taladros con carga explosiva se disminuyeron en 29%. Además, en la misma labor el factor de carga era 1,86 kg/m<sup>3</sup> y se disminuyó a 1,58 kg/m<sup>3</sup>, es decir 18% menos. En el caso del crucero XC 9109-NE el factor de potencia era de 1,82kg/m<sup>3</sup>. Con el nuevo diseño se logra obtener un factor de carga promedio de 1,65kg/m<sup>3</sup>, que significa una reducción del 10,4%; es decir, existe menor consumo de explosivo que lo realizado anteriormente. De modo que se reduce el costo de explosivos y se mejora la seguridad en las labores.

**Palabras clave:** geomecánica, mallas, perforación, voladura, indicadores.

## ABSTRACT

Drilling and blasting are daily activities in mining activity. To perform safe work requires the proper use of the amount of explosives according to the characteristics of the rock mass, so for the research work we pose as a problem ¿How does the geomechanical study influence the design of the drilling and blasting meshes in MARSA 2021? Therefore, as an objective, it was proposed to establish how the geomechanical study influences the design of the drilling and blasting meshes in Minera Aurífera Retamas S.A. The research is of the applied type, of descriptive and explanatory level, the scientific method was used and the design was the comparative descriptive. As a population, the horizontal work of Level 3220 was considered and as a sample the sublevel SN 3257-S and the cruiser XC 9109-NE. Once the research was carried out, the design of new drilling and blasting meshes was made based on the geomechanical study that indicated that the work is in rocks of IVA quality, bad. At the SN 3257-S sublevel, the number of drills drilled has been reduced by 10.3% and explosively charged drills decreased by 29%. In addition, in the same work the load factor was 1.86 kg/m<sup>3</sup>, and was reduced to 1.58 kg/m<sup>3</sup>, that is, 18% less. In the case of the cruiser XC 9109-NE the power factor was 1.82kg/m<sup>3</sup>. With the new design it is possible to obtain an average load factor of 1.65kg/m<sup>3</sup>, which means a reduction of 10.4%; that is, there is lower explosive consumption than previously done. So the cost of explosives is reduced and safety is improved.

**Keywords:** geomechanics, meshes, drilling, blasting, indicators.

## INTRODUCCIÓN

La ciencia no se detiene y las investigaciones van generando día a día nuevos conocimientos. La minería no es ajena a dichos adelantos. Las operaciones de perforación y posteriormente el de voladura son las primeras en realizarse en la industria minera. De estas dependen las demás actividades, por lo que es menester dar la importancia del caso a los diseños de las mallas. Los explosivos actúan sobre la masa rocosa y depende de la cantidad usada los buenos o malos resultados.

La geomecánica, generalmente, es usada para realizar diseños de labores y sostenimiento, pero la caracterización que realiza al medio rocoso puede ser aprovechado para el dimensionamiento correcto de las distancias entre taladros y aprovechar al máximo la energía entregada por el explosivo. En la investigación se tiene dicha filosofía y se ha llevado a la práctica el estudio geomecánico realizando diseños diferentes para un subnivel y un crucero.

Los resultados obtenidos son buenos y mantenerlos de manera permanente, permitirán la reducción de los costos de perforación y voladura, mejorando la estabilidad de las labores y los avances de los mismos.

## INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

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
1.2.3.	Delimitación conceptual.....	3
1.3.	Formulación del problema .....	3
1.3.1.	Problema principal .....	3
1.3.2.	Problemas específicos .....	3
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

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	6
2.2.1.	Antecedente internacional .....	6



2.2.2. Antecedentes nacionales .....	7
2.2. Bases teóricas – científicas .....	9
2.2.1. Geomecánica minera .....	9
2.2.2. Explotación de minas y geomecánica .....	13
2.2.3. Minera Aurífera Retamas S.A. ....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	32
2.4. Formulación de Hipótesis .....	34
2.4.1.Hipótesis General .....	34
2.4.2.Hipótesis Específicas.....	34
2.5. Identificación de Variables. ....	35
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores .....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1 Tipo de investigación.....	36
3.2 Nivel de investigación .....	36
3.3. Métodos de investigación .....	36
3.4. Diseño de investigación .....	37
3.5 Población y muestra.....	37
3.5.1.Población.....	37
3.5.2.Muestra .....	37
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	38
3.6.1.Técnicas .....	38
3.6.2.Instrumentos.....	38
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación ...	38
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	39
3.9. Tratamiento Estadístico .....	39
3.10 Orientación ética, filosófica y epistémica.....	39

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	40
4.1.1.	Estudio geomecánico de labores Nivel 3220 .....	40
4.1.2.	Mallas de perforación y voladura antes de la investigación.....	44
4.1.3.	Mallas de perforación y voladura de la investigación.....	47
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados. ....	50
4.2.1.	Presentación de los resultados.....	50
4.2.2.	Análisis e interpretación.....	53
4.3.	Prueba de Hipótesis .....	54
4.4.	Discusión de resultados .....	55

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Discontinuidades y la absorción de energía .....	15
Tabla N° 2: Parámetros para determinar el RMR (Bieniawski) .....	17
Tabla N° 3: Ajuste para RMR respecto a orientación de labor a discontinuidad principal .....	18
Tabla N° 4. Definición Operacional de la variable.....	35
Tabla N° 5: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, XC9109-NE, Registro 001.....	40
Tabla N° 6: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, XC9109- NE, Registro 002	42
Tabla N° 7: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, SN 3257-S.....	43
Tabla N° 8: Distribución de la carga explosiva, 8' .....	45
Tabla N° 9: Datos generales de la sección, 8' de perforación.....	45
Tabla N° 10: Distribución de la carga explosiva, 6' .....	46
Tabla N° 11: Datos generales de la sección, 6' de perforación.....	47
Tabla N° 12: Distribución de la carga explosiva, 8', IVA. ....	48
Tabla N° 13: Datos generales de la sección, 8' IVA.....	48
Tabla N° 14: Distribución de la carga explosiva, 6' IVA .....	49
Tabla N° 15: Datos generales de la sección, 6', IVA.....	50
Tabla N° 16: Resultados de disparos en SN 3257-S, con barrenos de 8 pies.....	51
Tabla N° 17: Resultados de disparos en XC 9109-NE, con barrenos de 6 pies .....	52

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema de gráficos y pilares.....	11
Figura N° 2: Litología cambiante .....	15
Figura N° 3: Ubicación de Marsa .....	22
Figura N° 4: Plano de Geología Local de la zona de influencia de MARSAS.....	26
Figura N° 5: Isométrico del sistema geológico estructural de MARSAS.....	27
Figura N° 6: Sostenimiento con cimbras en MARSAS .....	28
Figura N° 7: Malla de perforación - Sección 2.40m x 2.70m, 8' de longitud de perforación .....	44
Figura N° 8: Malla de Perforación - Sección 2.40m x 2.70m 6' de longitud de perforación .....	46
Figura N° 9Malla de perforación - sección 2.40m x 2.70m, 8' de longitud de perforación, IVA.....	47
Figura N° 10: Espaciador de agua de la corona de la labor, 8', IVA.....	48
Figura N° 11: Malla de perforación - Sección 2.4m x 2.7m, 6' de longitud de perforación de perforación, IVA.....	49
Figura N° 12: Espaciador de agua en la corona de la labor, 6', IVA .....	50
Figura N° 13: Corte en el frente del SN 3257-S .....	51
Figura N° 14: Avance por disparo con 8 pies.....	51
Figura N° 15: Corte en el frente del XC 9109-NE. ....	52
Figura N° 16: Avance por disparo con 6 pies.....	52

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

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

La operación de perforación de la masa rocosa y su posterior voladura son operaciones que se realizan por los menos dos guardias por día en nuestras minas peruanas. Estas operaciones se realizan tanto en material estéril o en mineral.

El trascendental es que si estas operaciones no resultan satisfactorias tendremos problemas en el avance en las rocas económicamente no rentables o en la explotación de los yacimientos que generalmente son estructuras o cuerpos.

Pero, tenemos que tener en cuenta que la perforación es la realización de taladros en la masa rocosa para almacenar la carga explosiva. La distribución de los taladros se realiza en las llamadas mallas de perforación, pero, no solo consiste en realizar los agujeros geométricamente, sino tener en cuenta las propiedades de las rocas sean físicas y mecánicas, o sino en el mejor de los casos deberían tomarse en cuenta la clasificaciones geomecánicas, ya que ellas se encuentran a

disposición de los ingenieros encargados de la perforación y voladura, porque es común tener la información geomecánica con fines de diseño e las labores y sostenimiento en los departamentos de geomecánica de cualquier unidad minera.

Entonces teniendo disponible los parámetros geomecánicos, se debe realizar el diseño de las mallas de perforación y voladura en concordancia con los mismos de modo que se puede dimensionar las distancias entre los taladros para tener una buena fragmentación, reducir los problemas de inestabilidad de las labores después de la voladura, evitar la sobrerotura, disminuir las vibraciones a través del macizo rocoso y utilizar solo cantidad de carga necesaria de modo que el factor de carga o factor de potencia, así como el factor de energía sean lo estrictamente requeridos.

En tal sentido se ha decidido realizar un trabajo de investigación de modo que los estudios geomecánicos sean utilizados para el diseño de las mallas de perforación y voladura para frentes y tajeos en la Unidad de Minera de MARSA.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La investigación será realizada en la Unidad Minera San Andrés de la Compañía Minera MARSA. La misma se halla ubicada en:

- Anexo : Llacuabamba
- Distrito : Parcoy.
- Provincia : Pataz.
- Departamento : La Libertad.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

La investigación se realizó de julio de 2021 hasta octubre del mismo año.

### **1.2.3. Delimitación conceptual**

La investigación está relacionada con el estudio geomecánico de la unidad minera que servirá como fundamento del diseño de la malla de perforación y voladura para las labores subterráneas en base a la clasificación de Bieniawski. Es decir, se tomará en cuenta la calidad de la roca de acuerdo al índice RMR. Además, se usará los principios de la voladura controlada en el perímetro de las labores para evitar sobrerotura y dilución del mineral. En este caso se puede utilizar los principios del recorte o pre corte como métodos de voladura controlada con fines de seguridad y cuidado de la salud del trabajador minero que es la nueva tendencia en la industria minera.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSAS 2021?

### **1.3.2. Problemas específicos**

¿En cuánto el estudio geomecánico influye en la cantidad de taladros en las labores de MARSAS 2021?

¿Cómo el estudio geomecánico influye en los indicadores de la perforación y voladura en MARSAS 2021?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Establecer cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSА.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar en cuánto el estudio geomecánico influye en la cantidad de taladros en las labores de MARSА.
- b) Establecer cómo el estudio geomecánico influye en los indicadores de la perforación y voladura en MARSА.

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

El porqué de la investigación es la innovación en el uso de los diseños de las mallas de perforación y voladura. El uso del nuevo criterio del diseño de las mallas de perforación y voladura con el uso de los parámetros geomecánicos que se tienen en los departamentos de geomecánica de cada Unidad Minera es el interés principal. Esto nos permitirá optimizar los recursos informativos existentes y usarlos en las principales operaciones unitarias de la industria minera como son la perforación y luego la voladura. Las tendencias de cuantificar todo lo que sea posible para mejorar la ingeniería en cada una de las actividades mineras hace necesario la investigación respecto a esta materia.

Concerniente a la importancia, es decir, el para qué de la investigación es que los resultados obtenidos en la investigación podrán ser tomados en cuenta por los colaboradores involucrados en las perforación y voladura de la Unidad



Minera. Posiblemente también pueden ser referentes para su uso en otras unidades mineras circundantes a la mina.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Teniendo en cuenta que la investigación tiene el visto bueno de los encargados de las operaciones de perforación y voladura podemos señalar que:

- No hubo limitación alguna en el acceso de la información.
- No existió limitaciones económicas porque la investigación no detendrá las operaciones de perforación y voladura.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedente internacional**

En la Tesis para Título Profesional en Chile Rebolledo, F. (2018), “Desarrollo de metodología de diseño y planificación de tronadura controlada para administrar y controlar riesgos geotécnicos”, concluye como: La metodología propuesta se hace cargo de los problemas más comunes en la definición de tronadura controlada, solucionando los puntos mencionados en los antecedentes recabados: Considera la integración del modelo geotécnico en el proceso de planificación y diseño de tronadura controlada. Se conceptualizan sistemas QA/QC para la ejecución de la perforación y tronadura, al igual que para la validación de la información de forma continua durante el avance de la aplicación de la metodología. Permite acotar el ciclo de prueba y error para el diseño de P&T, dado que basa su realización en el conocimiento de las

características del macizo rocoso y comportamiento del macizo rocoso ante la tronadura. Da un primer apronte a la incorporación y coordinación de las áreas de geotecnia, P&T, planificación y topografía, en el desarrollo de tronadura controlada. Da una solución para la evaluación de resultados post-tronadura, enfocando su objetivo en el control del daño en la pared del talud. (p.78).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Ramos, O. (2017), *“Diseño y evaluación de la voladura de pre-corte en el Tajo Pomarani - Untuca - Coripuno SAC. 2016”*, tesis presentada para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas, concluye que: “Con las pruebas de voladura controlada en los taladros de pre-corte realizado en el tajo Pomarani, se concluye que para tipo de roca DE-IIIB (Dominio estructural) con resistencia del macizo rocoso de 101 MPa los taladros de pre-corte deben ser cargados con ANFO utilizando bolsas especiales de plástico de 2.0 pulg de diámetro (carga desacoplada) y también se concluye que los taladros de pre-corte con espaciamientos mayores a 1.0 m presentaron rocas colgadas en las paredes del talud final, que ocasionó trabajos adicionales de limpieza, en cambio con espaciamiento entre taladros de pre-corte igual o menores a 1.0 m han resultado ser satisfactorios por ende se concluye que la distancia óptima es de 1.0 m de taladro a taladro para voladura de pre-corte con una carga explosiva de 3.2 kg por taladro. En esta investigación el principal objetivo es minimizar las presiones del taladro, lo suficiente para generar grietas entre los taladros adyacentes de la línea de corte, planos de debilidad que se generan a lo largo de los taladros de pre-corte, por ende se concluye que la presión en las paredes del taladro debe estar en relación a la resistencia de compresión del macizo rocoso, en el presente estudio

la resistencia a la compresión del macizo rocoso, con dominio estructural DE-III B es 101MPa y la presión de detonación máxima es de 103 MPa el cual es relativo. En la evaluación del resultado de voladura de pre-corte, acorde al método visual y/o fotográfico, López (1994), y la Comparación de niveles de daño por voladura en taludes rocosos Ashby (1980), los resultados obtenidos se encuentran en el nivel de daños 2 – moderado, por consiguiente, son satisfactorios para el diseño de voladura de pre-corte, logrando minimizar la sobre rotura y evitar bloques suspendidos en la pared de talud final del tajo Pomarani - Coripuno SAC.” (p.97).

Inga, C. (2016), “*La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en Compañía Minera Raura S.A.C.*”, tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, concluye que: “Los variables no controlables de perforación y voladura en el Nivel 940 son: la litología del terreno (arenisca silicificada), RMR del macizo rocoso igual 77, RQD de la roca 80%, resistencia a la compresión de la roca 1450 kg/cm<sup>2</sup>. Para evaluar el rendimiento del explosivo se utilizó el factor de energía en lugar de factor de carga, siendo para el Nivel 940 el factor de energía 8,63 MJ/m<sup>3</sup>. El Nivel 940 es una roca del tipo II con RMR 77, para este valor corresponde 34 taladros en una sección de 2,70 m x 2,70 m y un factor de carga 2,17 kg/m<sup>3</sup> para un explosivo medio como Semexsa 65%. Haciendo un estudio geomecánico de la roca y del macizo rocoso si hizo un diseño de malla de perforación y como resulta se tuvo una voladura eficiente, lo cual hizo que los costos de operación disminuyan. En el diseño de malla se relacionó los factores geomecánicos del macizo rocoso y especificaciones técnicas de explosivo ya que estos son los protagonistas para tener una buena voladura. Los variables

controlables para la perforación y voladura son: longitud de perforación, diámetro del taladro, burden, tipo de explosivo y factor de carga” (p.143).

Depaz, L, y Cáceres, C. (2018), “*Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la Ga – 475E del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, MYSAC año 2016*”, tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, concluyen que: “Se demostró que la aplicación de la perforación basada en las clasificaciones geomecánicas ha influido significativamente en la reducción de incidencias en las voladuras en la GA 475E de la empresa MYSAC. Los atributos geomecánicos hallados, permitió el diseño de malla de perforación y el correcto marcado. Para que esta aplicación sea aceptable, debemos realizar evaluaciones geomecánicas constantes en las labores mineras después de cada voladura. Los parámetros de perforación determinados en la labor minera de estudio, mejoró el diseño de malla, la distribución de taladros, el factor de potencia, por ende, la fragmentación de la roca la cual facilita la limpieza, carguío, acarreo y transporte” (p.59).

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Geomecánica minera**

La geomecánica es el estudio de cómo las rocas subsuperficiales se deforman o fallan en respuesta a cambios de estrés, presión y temperatura. Además, se dice que la Geomecánica es el estudio de la forma en que las rocas se estresan, incluyendo cómo y cuándo se desarrollarán las fallas. La geomecánica es la ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico del material geológico. Se utiliza para reducir los riesgos y optimizar las recompensas relacionadas con la falla mecánica del yacimiento y las formaciones circundantes

resultantes de las actividades de exploración y producción de petróleo y gas, como la perforación de pozos de petróleo y gas, la fracturación hidráulica, las inundaciones de agua o gas y el agotamiento. El objetivo es predecir cuándo se producirán tales fallos y así reducir el riesgo.

La geomecánica es el estudio del comportamiento mecánico de los materiales geológicos. Los aspectos de ingeniería de estos estudios, o la denominada geomecánica aplicada, describen la respuesta del entorno geológico a las acciones de la actividad minera. El ingeniero de minas aplica la geomecánica para predecir la respuesta de la masa rocosa a las actividades mineras.

El ingeniero mecánico de rocas en minería subterránea se ocupa de una amplia variedad de problemas, dependiendo del tipo de método de minado, el tipo y el valor de los minerales recuperados, los esfuerzos de la masa rocosa estéril circundante, la importancia de la protección de las labores y muchas otras variables. Las responsabilidades pueden incluir el diseño de pilares mineros, el diseño de soporte o refuerzo para las labores y galerías, la evaluación de la viabilidad de la espeleología de un yacimiento, el monitoreo de la estabilidad de una mina por medio de instrumentos de campo y el suministro de insumos geomecánicos para la selección del método de explotación del yacimiento mineral, el diseño de la mina y los ingenieros de planificación de la mina, así como a los gerentes de producción. (Anónimo.s.f. Geomecánica. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/geomechanics>).

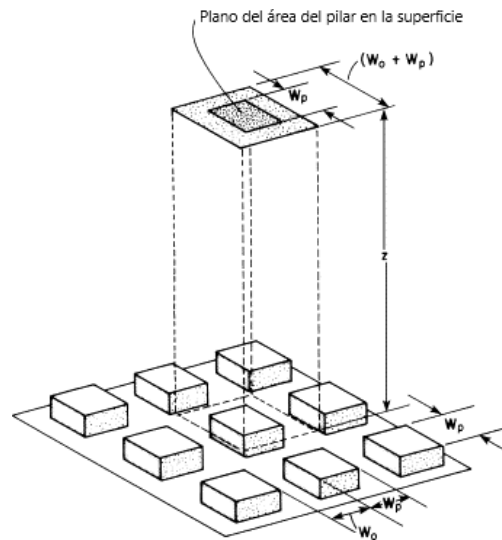


Figura N° 1. Esquema de gráficos y pilares.

El diseño de aberturas subterráneas como tajos y galerías generalmente se basa en una combinación de análisis teórico de estrés y clasificaciones empíricas de masa de roca.

Las dos disciplinas principales de la geomecánica son la mecánica del suelo y la mecánica de rocas. El primero se ocupa del comportamiento del suelo desde una escala pequeña hasta una escala de deslizamiento de tierra. Este último se ocupa de cuestiones relacionadas con las geociencias relacionadas con la caracterización de la masa rocosa y la mecánica de la masa rocosa, como los aplicados a los problemas del petróleo, la minería y la ingeniería civil, como la estabilidad de los pozos, el diseño de túneles, la rotura de rocas, la estabilidad de pendientes, los cimientos y la perforación de rocas.

Muchos aspectos de la geomecánica se superponen con partes de la ingeniería geotécnica, la geología de la ingeniería y la ingeniería geológica. Los desarrollos modernos se relacionan con la sismología, la mecánica del continuo,

la mecánica discontinua y los fenómenos de transporte. (Anónimo. s.f. Geomechanics. <https://en.wikipedia.org/wiki/Geomechanics>).

Cada formación geológica en el subsuelo está sujeta a tensiones causadas por una variedad de factores naturales. Estos incluyen la deposición, que causa carga gravitacional, tectónica, elevación, inflación de presión o deflación, relajación del estrés y efectos térmicos. Como resultado, las tensiones en el subsuelo no son estáticas a través del tiempo, ni pueden caracterizarse de la misma manera en todas partes en un momento dado. Del mismo modo, las propiedades de resistencia de una formación están sujetas a cambios a lo largo del tiempo geológico, desde la deposición hasta la actualidad.

Una formación geológica fallará cuando las tensiones a las que está sometida excedan su fuerza, y el papel de la geomecánica es predecir cuándo y dónde ocurrirá esa falla con la mayor precisión posible, evaluar los riesgos y oportunidades y recomendar planes de mitigación. Las tensiones rocosas preexistentes antes de cualquier intervención humana son las tensiones dominantes que afectan el rendimiento del reservorio. Por lo tanto, cualquier evaluación geomecánica de formación o yacimiento comienza con el análisis de las tensiones, la resistencia y los perfiles de presión de las rocas, por lo que una comprensión de la historia geológica de la formación de interés es crucial para su caracterización geomecánica confiable.

Los desafíos actuales para la geomecánica son, entre otros, el mejoramiento de los siguientes elementos:

- Las fuentes de datos para la predicción de las propiedades de las rocas y los esfuerzos locales



- La utilización de la información anisotrópica para la predicción de la deformación durante la explotación de los recursos no convencionales.
- El tratamiento de los desplazamientos de las fallas y las fracturas en los modelos numéricos.

### **2.2.2. Explotación de minas y geomecánica**

La importancia de la geomecánica para la explotación de los yacimientos de minerales es aquella que nos es útil para poder medir cuantitativamente los diferentes parámetros que componen la masa rocosa de acuerdo a los primeros estudios geológicos posteriormente modelizados como modelo geo mecánico para determinar la explotación de un yacimiento es importante conocer las propiedades mecánicas de las rocas y de las estructuras pre y post formación, de las que es esencial conocer su resistencia al corte para estimar la estabilidad del tajo en explotación. También es importante, incluir los estudios de las de las tensiones naturales existentes en el yacimiento no alterado por la explotación; para lo cual debieran de hacerse perforaciones de sondeos; para obtener las tensiones existentes "in situ". Además, de conocer las propiedades de la masa rocosa, es necesario saber las propiedades del mineral a explotar. De igual manera se debe tener información de la deformabilidad de la masa rocosa y el mineral.

#### **2.2.2.1. Características geomecánicas de una zona en estudio con fines de voladura**

La corteza terrestre, en geología llamada litosfera, se compone de dos zonas. La primera zona, que se extiende hacia abajo hasta una profundidad de unos 15 km, está formada por rocas que incluyen

principalmente sílice y alúmina (llamado sial). El otro, situado a una profundidad de 15 a unos 36 km, está compuesto por rocas que contienen principalmente sílice y magnesio (llamado sima). El peso unitario del sial es de 17-28 kN/m<sup>3</sup>, y de la sima, es de 30-34 kN/m<sup>3</sup>. Debajo de la litosfera, el manto se extiende hasta una profundidad de unos 2900 km, y por debajo de esta, a una profundidad de unos 6400 km, se encuentra el núcleo con su peso unitario de unos 110 kN/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, es importante y significativo para comprender las propiedades geomecánicas de la roca y proporcionar orientación sobre el análisis y la simulación de los procesos de formación de proyectos de ingeniería, geofísica, geotérmica, civil y subterránea.

Por lo tanto, cuando se trata del estudio de una zona en donde se realizará operaciones de perforación y voladura se realizará el análisis en la litósfera en la cual se debe tener en cuenta para poder tener buenos resultados las siguientes características:

#### **2.2.2.2. Litología**

La voladura en zonas donde se produce un cambio litológico por ejemplo puede ser de desmonte a una zona mineralizada, resultará en la modificación de las propiedades físicas mecánicas de las masas rocosas de modo que es necesario el rediseño de las operaciones de perforación y voladura, se sugiere dos posibilidades de solución debido al cambio litológico:

Diseños iguales para los dos tipos de roca y variación de las cargas unitarias.

Diseños distintos, pero con igual carga por taladro.

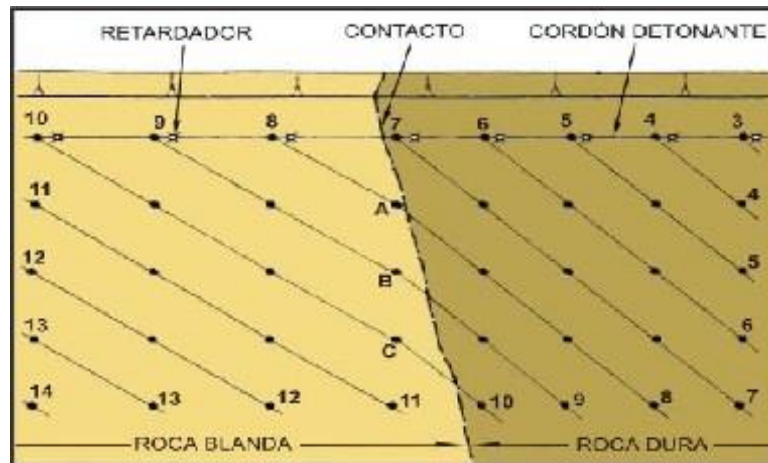


Figura N° 2: Litología cambiante

### 2.2.2.3. Estructuras Preexistentes

En toda masa rocosa es cotidiano encontrar la presencia de estructuras generalmente conocidos como discontinuidades, entre ellos tenemos a los planos de estratificación, juntas, planos de esquistosidad, etc. Estas características estructurales afectan a las propiedades físicas, mecánicas y de deformación de la masa rocosa de modo que tendrán una gran influencia en los resultados de la voladura debido a la pérdida de energía de los explosivos a través de esas discontinuidades.

Tabla N° 1: Discontinuidades y la absorción de energía

ABSORCIÓN DE LA ENERGÍA DE ONDA DE TENSIÓN EN LAS FRACTURAS	ABERTURA DE LAS FRACTURAS (mm)	NATURALEZA DE LAS FRACTURAS
1. PEQUEÑA (<20%)	(A) 0 (B) 0-4,0	(A) Fuertemente cementada. (B) Cementada con un material de impedancia acústica similar a la de la matriz.
2. LIGERA (20-40%)	(A) <0,5 (B) <4,0	(A) Fracturas rellenas con aire o agua. (B) Cementada con un material de impedancia acústica 1,5 - 2 veces menor que la de la matriz.
3. MEDIA (40-80%)	0,5-1,0	Fracturas abiertas rellenas con aire o agua.
4. GRANDE (>80%)	(A) 0,1-1,0 (B) 1,0	(A) Fracturas rellenas con material suelto y poroso. (B) Fracturas abiertas rellenas de material suelto poroso, aire y agua.

Fuente: López, J. Perforación y Voladura de rocas.

Otro aspecto del diseño de voladura es el control geo estructural de la masa rocosa en referencia a la orientación relativa del frente y dirección de salida del disparo con respecto a la dirección y buzamiento de los estratos.

#### **2.2.2.4. Tensiones en el campo**

Cuando actúan las tensiones de cargas residuales, tectónicas y/o gravitacionales, el esquema de fracturas generado alrededor de los taladros puede estar influenciado por la concentración no uniforme de tensiones alrededor del mismo. En rocas masivas homogéneas, las grietas que empiezan a propagarse radialmente desde los taladros tienden a seguir la dirección de las tensiones principales.

En las minas en las que de manera permanente se realizan las voladuras de producción con grandes cantidades de carga explosiva, dichas voladuras son las causantes principales de las tensiones de campo porque la masa rocosa no es de carácter homogéneo y por lo tanto son anisotrópicas.

#### **2.2.2.5. Presencia de agua**

En las minas peruanas es innegable la gran presencia de agua, principalmente en aquellas cercanas a las montañas nevadas o que se hallan debajo de las lagunas. De ello se puede inferir que las rocas porosas y los macizos rocosos intensamente fracturados van ser afectados grandemente por la saturación de agua. Esto nos lleva a tener en cuenta que se tendrán inconvenientes como los siguientes:

- Requerimiento de explosivos resistentes al agua.
- Hundimiento de los taladros perforados.
- Imposibilidad de la perforación hacia arriba.

### 2.2.2.6. Clasificación RMR

La clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) ideado y propuesto por Bieniawski (1973) fue actualizada en 1989. Desde entonces se ha convertido en una referencia mundial para clasificar las masas rocosas, permitiendo determinar las propiedades tenso-deformaciones y estimar de forma empírica el requerimiento del sostenimiento de las excavaciones subterráneas sean mineras y en obras civiles. El sistema RMR clasifica la masa rocosa con valores desde 0 hasta los 100 puntos, valorando cinco parámetros; de acuerdo a los criterios de la Tabla siguiente:

Tabla N° 2: Parámetros para determinar el RMR (Bieniawski)

Parameter		Range of values					For this low range-uniaxial compressive test is preferred		
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Rating	Uniaxial comp. strength	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	2	1	0
2	Drill core Quality RQD	Rating	15	12	7	4	< 25%		
	Rating	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	3			
3	Spacing of discontinuities	Rating	20	17	13	8	< 60 mm		
	Rating	> 2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	5			
4	Condition of discontinuities (See E)	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Couge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous			
		Rating	30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10-25	25-125	> 125		
		(Joint water press)(Major principal σ)	0	< 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
	General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing			
Rating		15	10	7	4	0			

Fuente: INGEOPRES (mayo, 2014).

Para obtener el valor final del sistema RMR se toma en cuenta la influencia de la orientación del eje de la labor subterránea con respecto a la familia más importante de las discontinuidades del terreno en donde se ejecutará la labor, de modo que para tal fin se usa la Tabla siguiente:

Tabla N° 3: Ajuste para RMR respecto a orientación de labor a discontinuidad principal

STRIKE PERPENDICULAR TO TUNNEL AXIS				Strike parallel to Tunnel Axis		Irrespective of Strike Dip 0°-20°
Drive with dip		Drive against dip		Dip 45-90	Dip 20-45	
Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45	Dip 45-90	Dip 20-45	
Very favorable	Favorable	Medium	Unfavorable	Very unfavorable	Medium	Medium
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Fuente: INGEOPRES (mayo, 2014).

### 2.2.2.7. Malla de perforación y voladura

La malla de perforación de los talados es la disposición de los mencionados taladros (tanto en planta como en sección). Las mallas básicas de los taladros en realidad son matrices de una sola fila. Las mallas de perforación pueden ser cuadradas o rectangulares y escalonadas. Las mallas irregulares también se utilizan para tomar áreas irregulares en el borde de una malla de perforación. El término espaciamiento denota la distancia lateral en los centros entre taladros de una fila. El burden es la distancia desde una sola fila hasta la cara de la excavación, o entre filas en el caso habitual donde las filas se disparan en secuencia.

Además de las mallas de perforación, también tenemos a las mallas de retardo. Esta malla permite el uso eficiente de la energía explosiva en la voladura. Los retardos pueden permitir el diseño y uso de una o más caras libres para fragmentar la masa rocosa de manera más eficiente.

### 2.2.2.8. Factor de carga

Una manera de evaluar el trabajo de un explosivo es el factor de carga. El factor de carga es una relación entre la cantidad de roca que se rompe y la cantidad de explosivo que se utiliza para romperla. Puede servir

para una variedad de propósitos, como un indicador de cuán dura es la roca, o el costo de los explosivos necesarios, o incluso como una guía para planificar un disparo. El factor de carga se puede expresar como una cantidad de roca rota por una unidad de peso de explosivos. O, alternativamente, puede ser la cantidad de explosivos necesarios para romper una medida unitaria de roca.

#### **2.2.2.9. Factor de energía**

El factor de energía describe la distribución de energía dentro de una unidad dada de roca. La distribución de energía dentro de un disparo se mide por el factor de energía, que compara la energía explosiva con una cantidad de roca fragmentada. La distribución de la energía explosiva dentro de toda la voladura se evalúa junto con su fragmentación resultante y su efecto en los costos operativos.

El análisis de voladuras se convierte a continuación en una función del factor de energía, el costo de los explosivos, los resultados de fragmentación y la producción posterior. La distribución adecuada de la energía es importante para obtener la fragmentación deseada y el movimiento de la parte inferior.

La distribución de energía se convierte en un factor importante cuando se encuentran taladros húmedos, ya que las mezclas explosivas encartuchados deben ser más pequeños que el diámetro del taladro para permitir una carga más fácil. La disminución resultante en el diámetro de la columna de explosivos, reduce la cantidad de energía explosiva dentro del taladro.

El encargado de la voladura debe utilizar explosivos de mayor energía para equilibrar la energía perdida. Se pueden hacer los ajustes de energía explosiva necesarios en el taladro para compensar el fondo duro. Además, los explosivos de mayor energía pueden ser sustituidos por explosivos de menor energía para aumentar la distribución de energía dentro de la roca, aumentando así la fragmentación. Sin embargo, si la fragmentación era satisfactoria antes de la introducción de energía explosiva adicional, la distribución de energía mejorada dentro del disparo permitirá una expansión del patrón de perforación, con la consiguiente disminución de los costos generales de perforación. La mejora de las tasas de producción y la consiguiente reducción de costos en la excavación, el acarreo, la trituración o el movimiento de rocas son los principales beneficios obtenidos de la aplicación eficiente de energía explosiva. Hay otros beneficios de una mejor fragmentación, como la reducción de la voladura secundaria, la reducción del consumo de energía en la chancadora primaria y menos desgaste y mantenimiento en el equipo. La eficiencia explosiva es la relación entre la cantidad de energía liberada y la energía termoquímica calculada.

Las emulsiones son explosivos altamente eficientes, debido principalmente a su tamaño de partícula microscópica. En contraste, los explosivos con diferentes tamaños de partícula, como ANFO o geles de agua, no tendrán una velocidad de combustión uniforme y, por lo tanto, no serán tan eficientes. Los estudios que comparan la energía termoquímica calculada con la energía medida por la técnica de energía de burbujas submarinas, han demostrado que las emulsiones liberaron el



93 por ciento de la energía termoquímica calculada. Los geles de agua con diferentes tamaños de partícula lograron solo del 55 al 70 por ciento de su energía termoquímica calculada. Las eficiencias explosivas de ANFO, y particularmente de ANFO de alta densidad, oscilan entre el 50 y el 80 por ciento de sus energías calculadas. Como resultado, los explosivos de emulsión no solo son termoquímicamente eficientes, sino que también son rentables.

#### **2.2.2.10. El aire: Enemigo de un explosivo**

El acoplamiento de la perforación es fundamental para una buena fragmentación de la masa rocosa. El taladro nunca debe exceder el diámetro del explosivo en más de media pulgada. La brecha de aire alrededor de una carga explosiva absorbe la energía de choque y resulta en una fragmentación deficiente.

#### **2.2.2.11. Consideraciones de perforación y carga**

Si bien la dureza relativa de la roca tiene un efecto tanto en el rendimiento de la perforación como en el de los explosivos, los factores ambientales también ejercen su influencia.

Entre los factores a considerar en el estudio de los costos de perforación se encuentran: costos de broca, mano de obra, consumo de combustible, tasas de penetración, mantenimiento, vida útil de la máquina y costo de la máquina. Por ejemplo, las condiciones severas del agua en el taladro requerirán explosivos más caros, lo que resultará en un costo de energía más alto que el que se experimentaría con un uso máximo de

ANFO. En las regiones semiáridas, los costos de perforación pueden representar hasta el 80 por ciento de los costos totales de perforación y voladura, principalmente debido a la utilización del explosivo de menor costo. Por el contrario, en las formaciones de roca dura existen en un ambiente relativamente húmedo, donde los costos de los explosivos pueden ser de hasta el 70 por ciento del gasto total de perforación y voladura. Las vibraciones de voladura y los problemas de golpe de aire pueden tener una influencia directa en el programa de voladura que el operador puede seleccionar. Debido a tales limitaciones, el encargado de la voladura puede necesitar imponer límites a la cantidad de explosivos por retardo, lo que se relaciona directamente con los tamaños y profundidades de los agujeros.

### 2.2.3. Minera Aurífera Retamas S.A.

La empresa MARSa realiza la explotación de mineral mediante sus operaciones localizadas en el flanco sur del denominado Batolito de Pataz.

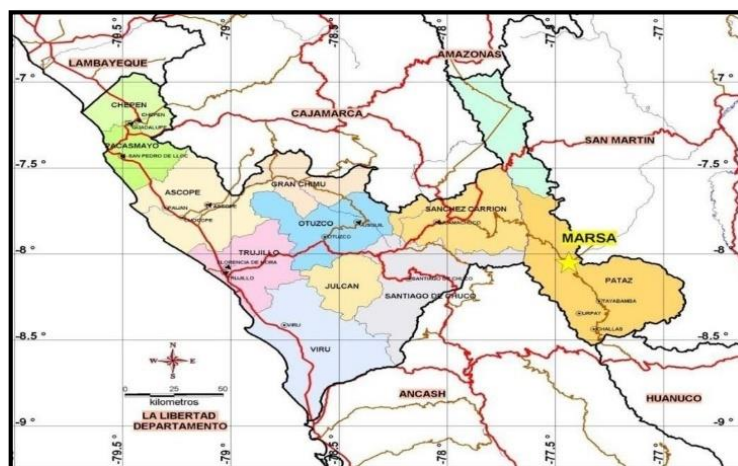


Figura N° 3: Ubicación de Marsa

### **2.2.3.1. Fisiografía y geomorfología.**

#### **Relieve**

El relieve de la zona es muy accidentado y abrupto característico de los Andes, con quebradas, ríos encañonados y laderas pronunciadas con fuerte pendiente elevaciones entre los 3600 a 4200 m.s.n.m. La zona es un típico valle en formación, emplazado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes.

El modelaje superficial de la zona ha adoptado caracteres geomorfológicos definidos , debido a la acción de los factores exógenos y endógenos que actuaron y actúan en la zona, es decir la fisiografía de la zona es el resultado de la acción de factores climáticos como la humedad y la temperatura que determinan el grado de meteorización de la roca y suelos, así como el trabajo posterior del viento y el agua, ya sea como agente erosivo o de transporte de los productos de desintegración de las rocas.

### **2.2.3.2. Rasgos y unidades geomorfológicas**

Las unidades geomorfológicas del área son el resultado de los efectos degradacionales que ocasionaron los factores climáticos que determinan el grado de meteorización en la zona.

Las unidades geomorfológicas reconocidas en la zona de estudio son:

- Cordillera oriental.
- Vertiente cordillerana-Ladera Cordillerana.

- Valle-Cañón.

### **2.2.3.3. Procesos geomorfológicos.**

El relieve terrestre va evolucionando en la dinámica del ciclo geográfico mediante una serie de procesos constructivos y destructivos que se ven permanentemente afectados por la fuerza de gravedad que actúan como equilibradora de los desniveles; es decir, hace que las zonas elevadas tiendan a caer y colmatar las zonas deprimidas. Estos procesos hacen que el relieve transite por diferentes etapas. Los desencadenantes de los procesos geomorfológicos pueden categorizarse en cuatro grupos:

- a) Factores geográficos.
- b) Factores bióticos.
- c) Factores geológicos.
- d) Factores antrópicos.

### **2.2.3.4. Hidrografía y drenaje.**

El río Molinetes constituye el drenaje principal de la zona, así como sus tributarios (río de la quebrada Mushmush, río de la quebrada ventanas), tiene una dirección predominante de NO a SE; a la altura de Llacuabamba el río toma el nombre de este anexo; aguas norte se une con el río Huinchos dando lugar al río Parcoy que entrega sus aguas a la laguna Pías, para luego discurrir con el nombre de río Marañón.

### **2.2.3.5. Geología Local**

Comprende unidades litológicas que van desde el precámbrico al cuaternario, desde la más antigua a la más joven, El Complejo Marañón del precámbrico, cámbrico al ordovícico, constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceos, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y meta volcánico se hallan expuestas en el lado NE del “Batolito de Pataz”, encontrándose plegadas, falladas y/o perturbadas por varios eventos de metamorfismo dinámico e ígneo.

El batolito de Pataz del carbonífero (edad de la intrusión 329 Ma y enfriamiento 329-328 Ma Haberlin-Moritz 2002), tiene aproximadamente 160 Km de largo (N- S), un ancho de 2.5 a 5 Km. El intrusivo está constituido probablemente por más de una facie plutónica; una facie de granito- granodiorita y otra facie de tonalita- diorita, mostrándose la primera como la más favorable para emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas.

### **2.2.3.6. Geología Estructural**

Con los estudios y análisis estructurales realizados se ha logrado determinar. La cinemática de las fallas, la cronología relativa de los sistemas de fallas y su relación con las fases orogénicas, lo que permitió definir un modelo geométrico estructural del yacimiento y las implicancias para la exploración, caracterizado por la ocurrencia de los siguientes sistemas en orden cronológico.



Figura N° 4: Plano de Geología Local de la zona de influencia de MARSA

### Sistema de Vetas:

Están asociadas a un arreglo estructural de 3 sistemas.

Sistema NW – SE; de bajo buzamiento al NE, corresponde a estructuras principales (veta Esperanza, Daniela, Cachaco, Yanaracra, Capitán Garfio); relacionados a eventos compresivos NW-SE con cinemática inversa. Sistema N-S y NE-SW, con buzamiento al E-SE, asociados a los regímenes transtensivos del primer sistema, corresponde a un sistema tensional con cinemática normal (veta Valeria, Cachaco T1-T2, Sistema tensional 1, 2, 3). Sistema NE-SW, con buzamiento al NW (sistema de vetas BB), de cinemática normal tensionales a la falla Los Loros.

Sistema EW. Fallas de rumbo EW a N70°E, con buzamientos mayores a 60° al NW con cinemática normal-sinextral (fallas Cabana, Las

Torres, Patrick I, San Vicente, Ventanas), son fallas post mineralización. Sistema NW-NS.

Como un evento posterior a los dos anteriores, se tiene el sistema gravitacional de rumbo N30°W a NS con alto buzamiento al W, de cinemática inversa-dextral (Sistema Chilcas, Las Chilcas, Los Loros, Sistema Los Loros).

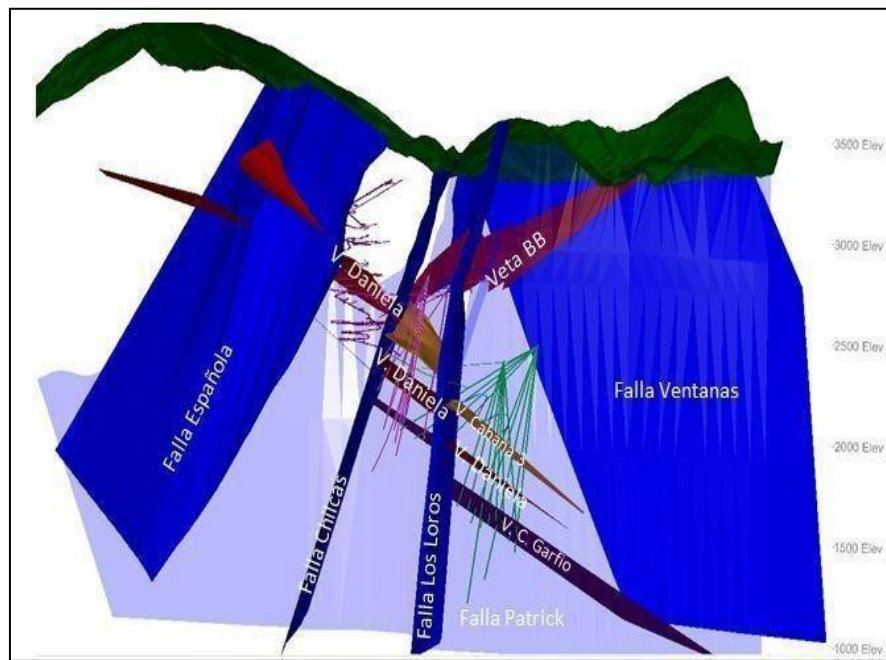


Figura N° 5: Isométrico del sistema geológico estructural de MARSA

### 2.2.3.7. Operaciones mineras

La mina produce 1650 TMDS, mineral proveniente de la explotación, preparación y desarrollo.

Para desarrollar las labores de exploración, preparación se utilizan jumbos electrohidráulicos de un brazo, scoops desde 1.5 yd<sup>3</sup> hasta 4.5 yd<sup>3</sup> de capacidad y palas neumáticas de 10 pies<sup>3</sup>.

Los principales métodos de minado son Cámaras y Pilares Mecanizados con rendimiento de 8 TM/h-g, Corte y Relleno Ascendente y el Long Wall (convencional).

Para la perforación están en uso las perforadoras jackleg, y para limpieza winches eléctricos de arrastre en las labores convencionales y scoop en los tajos mecanizados, y para restablecer el macizo rocoso se usa relleno hidráulico de alta densidad.

En todas las labores subterráneas se emplean ventiladores auxiliares de 5,000 cfm a 8,000 cfm para expulsar el aire viciado hacia los tres circuitos principales de ventilación que está conformado por cruceros y chimeneas raise boring de 6' y 8' de diámetro.

### **Perforación y voladura.**

Los equipos de perforación son perforadoras livianas tipo Jack-Leg. La longitud de barrenos es de 5,6 y 8 pies con 34,36 y 38 mm de diámetro de inserto y/o brocas. En la voladura, se emplean dinamitas, semigelatinas con potencia relativas de 45% y 65%, dinamitas pulverulentas de 45% y 65% en las coronas.

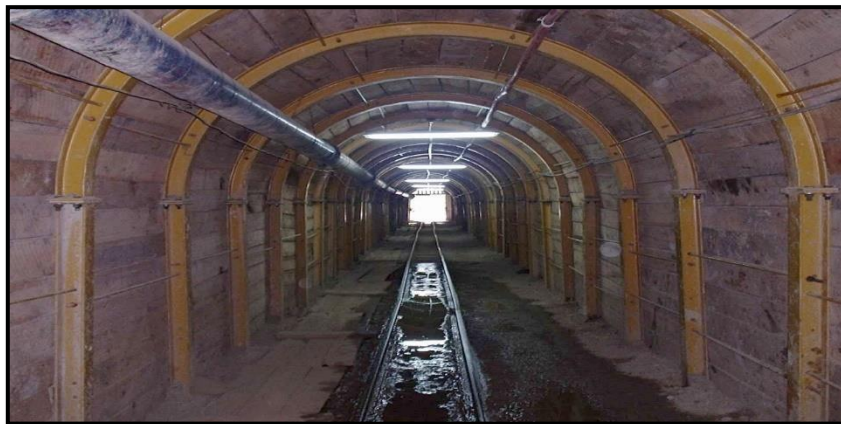


Figura N° 6: Sostenimiento con cimbras en MARSA



#### **2.2.3.8. Infraestructura principal Pique Principal**

El proyecto Pique Principal MARSА fue culminado en abril de 2016 luego de haberse iniciado su construcción en octubre de 2012 e iniciado el proyecto en su fase de ingeniería conceptual y básica en enero de 2010. Con una longitud de 800 metros (incluido el castillo y zona de carga) y 4.2 metros de diámetro para optimizar la operatividad entre los niveles 3220 y 2620. A través del pique, se podrá trasladar en el skip 3800 TMS/día de material que incluye mineral y desmonte y contará además con una jaula de capacidad de 72 personas que permitirá dar acceso a 800 trabajadores por turno o trasladar a través de ella 5800 kilos de carga.

#### **2.2.3.9. Rampa Patrick III**

Luego de haber concluido las dos primeras etapas en las que se construyeron la Rampa Patrick 1 entre las cotas 3200 y 2950 y Patrick II entre las cotas 2950 y 2570, que nos han permitido garantizar un importante volumen de reservas y para seguir profundizando la mina, MARSА ha proyectado la Rampa Patrick III.

#### **2.2.3.10. Planta de Beneficio**

En la constante preocupación de contar con tecnología de punta y garantizar una adecuada producción, MARSА ha iniciado la primera etapa de la modernización y optimización de su Planta de Beneficio San Andrés, que actualmente tiene una capacidad instalada de 1800 TMS/día. Para ello, se han adquirido modernos espesadores, celdas de flotación y equipos de clarificación.

#### **2.2.3.11. Sistemas de Gestión de Calidad ISO 9001(2008)**

Se realiza el análisis de las muestras minerales, las aguas y las soluciones cianuradas, tomando en cuenta un estricto control de leyes a lo largo del proceso productivo. Gracias a un laboratorio equipado y moderno un personal debidamente calificado, se asegura la fiabilidad de los resultados de acuerdo a los patrones internacionales y los estándares de otros laboratorios de prestigio.

#### **2.2.3.12. Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001(2004).**

Se ha previsto también la prevención y minimización de los impactos ambientales como uno de los pilares del desarrollo de la empresa. Es un sistema que nos ha permitido gestionar nuestros procesos de forma más eficiente, logrando reducir significativamente el consumo de los recursos naturales como energía, madera.

#### **2.2.3.13. Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional OHSAS**

**18001(2007).**

Brindar protección y bienestar a los trabajadores y colaboradores de MARSA a través del cumplimiento de los más altos estándares en seguridad y salud ocupacional es uno de los propósitos fundamentales de la empresa. Se ha implementado el seguimiento de la norma internacional OHSAS 18001, y cuenta con un “Plan de Emergencia de Seguridad”, que contempla acciones preventivas.

#### **2.2.3.14. Responsabilidad Social**

MARSA como empresa responsable y respetuosa de su marco legal cumple cabalmente con el pago del 30% del impuesto a la renta,

impuesto que es pagado directamente en Trujillo, el pago de regalías mineras, el aporte voluntario, dinero que es utilizado por el gobierno nacional y regional para el desarrollo del departamento de La Libertad.

Marsa opera de manera socialmente responsable y ha desarrollado una política de relaciones comunitarias basadas en el respeto y el diálogo permanente con las poblaciones vecinas.

### **Responsabilidad Ambiental.**

MARSA tiene una política de responsabilidad ambiental orientada a prevenir y minimizar los impactos medio ambientales y de concientizar a sus trabajadores hacia el cuidado del medio ambiente. Para ello se desarrollaron los siguientes ejes:

#### **Monitoreos Ambientales.**

MARSA cuenta con un programa de monitoreo ambiental, diseñado y ejecutado regularmente, con el fin de garantizar su eficiente desempeño ambiental. Así, se monitorea la calidad del agua, aire, suelos y ruidos con la finalidad de prever y minimizar cualquier impacto ambiental.

#### **Manejo de residuos sólidos.**

Contamos con un “Plan de manejo de Residuos Sólidos”, que se actualiza anualmente con el fin de mejorar la gestión integral de los residuos provenientes de las operaciones mineras, además de garantizar un ambiente saludable para sus trabajadores y las comunidades de su entorno.

#### **Control de efluentes y emisiones.**

Para mitigar los efectos ambientales, se ha implementado una serie de sistemas de tratamiento que obedecen a estudios técnicos y de ingeniería. Se cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales de minas, procesos metalúrgicos, aguas residuales domésticas y sistemas de control de sedimentos e hidrocarburos.

#### **Educación Ambiental.**

La empresa lleva a cabo un programa de capacitación y concientización en educación ambiental, dirigido al personal de la empresa, colaboradores y miembros de las comunidades aledañas con la finalidad de lograr el compromiso de todos ellos en la importante tarea del cuidado del medio ambiente.

#### **Conservación de la biodiversidad.**

MARSA posee un vivero para el crecimiento de plantas, lo que facilita la propagación de especies nativas, en especial las que se encuentran en vías de extinción, así como la reforestación y rehabilitación de las áreas perturbadas.

#### **Cierre de minas.**

MARSA cuenta con un plan de cierre de minas, que se viene implementando de manera progresiva y que tiene que rehabilitar las áreas disturbadas por la actividad minera a fin de garantizar un ecosistema saludable.

### **2.3. Definición de términos básicos**

“El diseño es el proceso previo de configuración mental, «prefiguración», en la búsqueda de una solución en cualquier campo. Se aplica habitualmente en el contexto de la industria, ingeniería, arquitectura, comunicación y otras

disciplinas que requieren creatividad. El diseño involucra variadas dimensiones que van más allá del aspecto, la forma y el color, abarcando también la función de un objeto y su interacción con el usuario. Durante el proceso se debe tener en cuenta además la funcionalidad, la operatividad, la eficiencia y la vida útil del objeto del diseño” (Anónimo. s.f. Diseño. <https://es.wikipedia.org/wiki/Diseño>).

### **Estudio**

“Acción de estudiar, ejercicio o esfuerzo del entendimiento o la inteligencia para comprender o aprender algo, en especial una ciencia o un arte” (Real Academia Española).

### **Explosivo**

Un explosivo es aquella sustancia que por alguna causa externa como el rozamiento, el calor la percusión u otros se transforma en gases; liberando calor, presión o radiación en un tiempo muy breve, que pueden ser milisegundos.

### **Geomecánica**

La geomecánica es el estudio de cómo se deforman los suelos y las rocas, hasta terminar a veces en su falla, en respuesta a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales.

### **Malla de perforación**

“El trazo de malla de perforación es el lugar hacia el cual se desplaza el material cuando es disparado, por acción del explosivo. La cara libre en un frente es una sola por ello la función del corte o arranque es abrir otra cara libre, o sea el hueco que forma el corte luego del disparo es otra cara libre” (Anónimo. s.f. Diseño de malla. [https://es.slideshare.net/anderssonlujanojeda/diseo-de-malla-de-perforación](https://es.slideshare.net/anderssonlujanojeda/diseo-de-malla-de-perforacion)).

## **Perforación**

“Perforación es la acción y efecto de perforar (agujerear algo atravesándolo). La máquina que se utiliza para perforar se conoce como perforadora” (<https://definicion.de/perforacion/>).

### **Perforación de taladros**

“También llamada barrenación es el acto de perforar o de agujerar y está catalogada en dos tipos: Perforación de taladros o barrenos para minería. Desarrollo de obras de minería para exploración o explotación, que tiene el objetivo de hacer agujeros que después serán rellenados con explosivos para la detonación de mezclas explosivas” (Anónimo. s.f. Barrenación. <https://alfo.com.mx/que-se-entiende-por-la-Barrenación/>).

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El estudio geomecánico influye significativamente en el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSA.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- a. El estudio geomecánico influye significativamente en la cantidad de taladros en las labores de MARSA.
- b. El estudio geomecánico influye significativamente en los indicadores de la perforación y voladura en MARSA.

## 2.5. Identificación de Variables.

- **Variable Independiente:** Estudio geomecánico.
- **Variable Dependiente:** Diseño de mallas de perforación y voladura.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla N° 4. Definición Operacional de la variable

Tipo de la variable	Nombre de la variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Independiente	Estudio geomecánico	La geomecánica es el estudio de cómo se deforman los suelos y las rocas, hasta terminar a veces en su falla, en respuesta a los cambios de esfuerzos, presión, temperatura y otros parámetros ambientales.	Resistencias	Compresión MPa. Tracción MPa.
			Discontinuidades	Longitud abertura m mm
			Agua	Caudal Litros/s
Dependiente	Diseño de malla de perforación y voladura	Es el diseño de la distribución de taladros que serán perforados y cargados con explosivos para ser volados cuando es disparado con explosivos.	Taladros	Cantidad Unidades
			Perforación	Longitud m
			Voladura	Explosivos kg

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicado, porque se hizo uso de conocimientos reconocidos por la comunidad científica en materia de la industria minera.

#### **3.2 Nivel de investigación**

Respecto al nivel de investigación, ésta fue del nivel descriptivo y explicativo porque permitirá la descripción de los estudios geomecánicos y su efecto en el diseño de las mallas de perforación y voladura de rocas.

#### **3.3. Métodos de investigación**

El método a ser utilizado fue el método científico. Además, para los efectos de analizar los factores intervinientes en el problema planteado del estudio



geomecánico y el diseño de las mallas se empleó los métodos: inductivo, deductivo, de análisis y de síntesis.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño que se utilizará en la investigación será el diseño descriptivo comparativo:

Dónde:

M1 = muestra 1. M2 = muestra 2.

O1 = Observación 1. O2 = Observación 2

### **3.5 Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Como población para el trabajo de investigación se tomó en cuenta las diferentes labores de la Zona Chilcas Bajo, del Nivel 3220 de la Unidad Minera San Andrés de MARSA.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra fue elegida de manera no probabilística de las labores del Nivel 3220. La labor tomada en cuenta fue la Gal 9110-N por estar en ejecución y tener información suficiente de geomecánica.

## **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.6.1. Técnicas**

Las principales técnicas que utilizaré en la investigación son:

- Análisis Documental
- Observación.

### **3.6.2. Instrumentos**

Los principales instrumentos que utilizare en la investigación son:

- Guía de análisis Documental.
- Guía de observación.

## **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Concerniente a la selección de los instrumentos de investigación, se eligió una guía de análisis documental para poder inferir de los resultados antes de la investigación, y respecto a la guía de observación se tomó en cuenta para realizar una observación estructurada.

Para la validación de los mismos instrumentos de investigación se recogió la opinión de personas vinculadas a las operaciones de perforación y voladura, quienes opinaron que eran los más adecuados para el trabajo de investigación a realizarse.

Respecto a la confiabilidad de los instrumentos se ha demostrado que son confiables porque tanto la guía de análisis documental y la guía de observación

consideran los ítems a revisar y anotar con relación a los parámetros geomecánicos y los resultados de la voladura en los diferentes frentes de avances.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Implicó elaborar un plan detallado de los procedimientos que condujeron a reunir datos con la finalidad de demostrar las hipótesis. Los datos obtenidos, previamente codificados, se transfieren a una matriz de datos y se preparan para su análisis mediante el análisis estadístico.

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

Los datos se trataron estadísticamente. Los datos fueron tabulados, para determinar su frecuencia absoluta y expresarlo en porcentajes a partir de la frecuencia relativa de las clases. Posteriormente se determinaron las medidas de tendencia central. Estos permiten la contrastación de las hipótesis y también para confrontar con los objetivos de la investigación.

### **3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica**

El trabajo de investigación realizado tiene como fundamento bases teóricas que son citadas para cada caso. Los demás ítems, particularmente en los demás capítulos se tienen la originalidad requerida, por lo que el porcentaje de similitud es menor al límite máximo. Los resultados y discusión son completamente originales porque es lo que propone el autor como resultados de sus conocimientos teóricos prácticos con que cuenta. Además, los resultados pueden ser usados por otros investigadores o empresas, pero en el caso de realizar informes u otros deben consignar la procedencia de nuestro trabajo de investigación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1. Estudio geomecánico de labores Nivel 3220

Para el inicio de la investigación, tal como se señala en el título del trabajo se realizó el estudio geomecánico en el Nivel 3220, en la veta Esperanza.

Tabla N° 5: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, XC9109-NE, Registro 001.

Tipo Labor	Labor	Ref.Topog.	RMR BÁSICO (Valor)	RMR BÁSICO (Tipo)	RMR AJUSTADO (Valor)	RMR AJUSTADO (Tipo)
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	40	IV-A	30	IV-B
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	49	III-B	39	IV-A
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	48	III-B	38	IV-A
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	52	III-A	42	III-B
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	52	III-A	42	III-B
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	AU+10.00m	54	III-A	44	III-B
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	HDD- 46+20.00 m	43	III-B	33	IV-A
LABOR ALEDANA	GAL 10291-N(CHI 10285- 2N(GAL)	HDD- 46+20.00m	42	III-B	32	IV-A

R.C.U	R.Q.D	Espaciamiento	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subt.	Ajuste xOrient.	R.M.R BASICO	R.M.R AJUSTADO
4	8	5	2	1	7	1	2	7	-5	37	32

	Fam.1	Fam.2	Fam.3	Falla
R.				
B.				
Rumbo Excavación		SE		
PROGRESIVA				
DE	A	GSI	RMR	TIPO DE ROCA
4ANE+32.00	AX13+00.00	IF/MP	32	IV - A
OBSERVACIONES				
Influenciado por sistema de fallas, CHILCAS y LA TORRE.				

### Interpretación

Se encuentra en roca diorita y con alteración de panizo, influenciada por el sistema de Falla CHILCAS y Falla LAS TORRES que se encuentran de forma transversal al avance, según el mapeo de labores aledañas se obtuvo un RMR=30-40 catalogado de acuerdo al GSI=IF/MP como un macizo rocoso Intensamente Fracturado, Muy pobre.

### Recomendación

Realizar desate de rocas minucioso de la corona y hastiales más colocar guarda cabeza, malla de sacrificio más Split set de 3 pies solo en la corona de la labor Sostenimiento con cuadro de madera con redondos de 8 pulgadas de diámetro espaciados a 1.00 m – 1.20 m de luz como máximo con todos sus elementos de soporte según estándar tener en cuenta el tiempo de auto soporte (TAS) de acuerdo al tipo de roca.

Tabla N° 6: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, XC9109- NE, Registro 002

Tipo Labor	Labor	Ref.Topog.	RMR BÁSICO (Valor)	RMR BÁSICO (Tipo)	RMR AJUSTADO (Valor)	RMR AJUSTADO (Tipo)
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	40	IV-A	30	IV-B
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	49	III-B	39	IV-A
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	48	III-B	38	IV-A
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	52	III-A	42	III-B
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	52	III-A	42	III-B
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	AU+10.00m	54	III-A	44	III-B
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	HDD-46+20.00 m	43	III-B	33	IV-A
LABOR ALEDAÑA	GAL 10291-N(CHI 10285-2N(GAL)	HDD-46+20.00m	42	III-B	32	IV-A

R.C.U	R.Q.D	Espaciamiento	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subt.	Ajuste xOrient.	R.M.R BASICO	R.M.R AJUSTADO
4	8	5	4	1	7	1	3	7	-5	40	35

	Fam.1	Fam.2	Fam.3	Falla
R.				
B.				
Rumbo Excavación			SE	
PROGRESIVA		GSI		RMR
DE		A		TIPO DE ROCA
5ANE+32.00		AX		IV - A
		MF/P		35
OBSERVACIONES				
Influenciado por sistema de fallas, CHILCAS y LA TORRE.				

### Interpretación

Se encuentra en roca diorita y con alteración de panizo, influenciada por el sistema de Falla CHILCAS y Falla LOS LOROS que se encuentran de forma transversal al avance, según el mapeo de labores alledañas se obtuvo un RMR=31-40 catalogado de acuerdo al GSI=IF/MP como un macizo rocoso Intensamente Fracturado, Pobre.

### Recomendación

Realizar desate de rocas minucioso de la corona y hastiales más colocar guarda cabeza, malla de sacrificio más Split set de 3 pies solo en la corona de la

labor Sostenimiento con cuadro de madera con redondos de 8 pulgadas de diámetro espaciados a 1.00 m – 1.20 m de luz como máximo con todos sus elementos de soporte según estándar tener en cuenta el tiempo de auto soporte (TAS) de acuerdo al tipo de roca.

Tabla N° 7: Estudio geomecánico, Nivel 3220, Veta Esperanza, SN 3257-S

Tipo Labor	Labor	Ref.Topog.	RMR BÁSICO (Valor)	RMR BÁSICO (Tipo)	RMR AJUSTADO (Valor)	RMR AJUSTADO (Tipo)
LABOR ALEDAÑA	CHI 8995-1SE (CH 8995-1SE(XC))	D+3.00m	49	IV-A	39	IV-B
LABOR ALEDAÑA	CHI 8995-1SE (CH 8995-1SE(XC))	D+3.00m	49	III-B	39	IV-A
LABOR ALEDAÑA	CHI 8995-1SE (CH 8995-1SE(XC))	D+3.00m	49	III-B	39	IV-A

R.C.U	R.Q.D	Espaciamiento	Persistencia	Apertura	Rugosidad	Relleno	Alteración	Agua Subt.	Ajuste xOrient.	R.M.R BASICO	R.M.R AJUSTADO
4	8	5	4	1	7	1	3	7	-5	40	35

	Fam.1	Fam.2	Fam.3	Falla
R.				
B.				
Rumbo Excavación		SE		
PROGRESIVA		GSI	RMR	TIPO DE ROCA
DE	A			OBSERVACIONES
5NE+19.00	AX	MF/P	35	IV - A
Influenciado por sistema de fallas, CHILCAS y LA TORRE.				

### Interpretación

Se encuentra en roca diorita y con alteración de panizo, influenciada por el sistema de Falla CHILCAS y Falla LOS LOROS que se encuentran de forma transversal al avance, según el mapeo de labores alledañas se obtuvo un RMR=31-40 catalogado de acuerdo al GSI=IF/MP como un macizo rocoso Intensamente Fracturado, Pobre.

### Recomendación

Realizar desate de rocas minucioso de la corona y hastiales. Sostenimiento con cuadro de madera con redondos de 8 pulgadas de diámetro espaciados a 1.40

m de luz como máximo con todos sus elementos de soporte según estándar tener en cuenta el tiempo de auto soporte (TAS) y la frecuencia de desatado de acuerdo al tipo de roca, de mejorar la calidad de la roca se hará una evaluación para el cambio de sostenimiento.

#### 4.1.2. Mallas de perforación y voladura antes de la investigación

A continuación, se presentan los diseños de las mallas usadas en las secciones de 2,40m x 2,70m, antes de tomar en cuenta los estudios geomecánicos.

- Para longitud de perforación de 8':

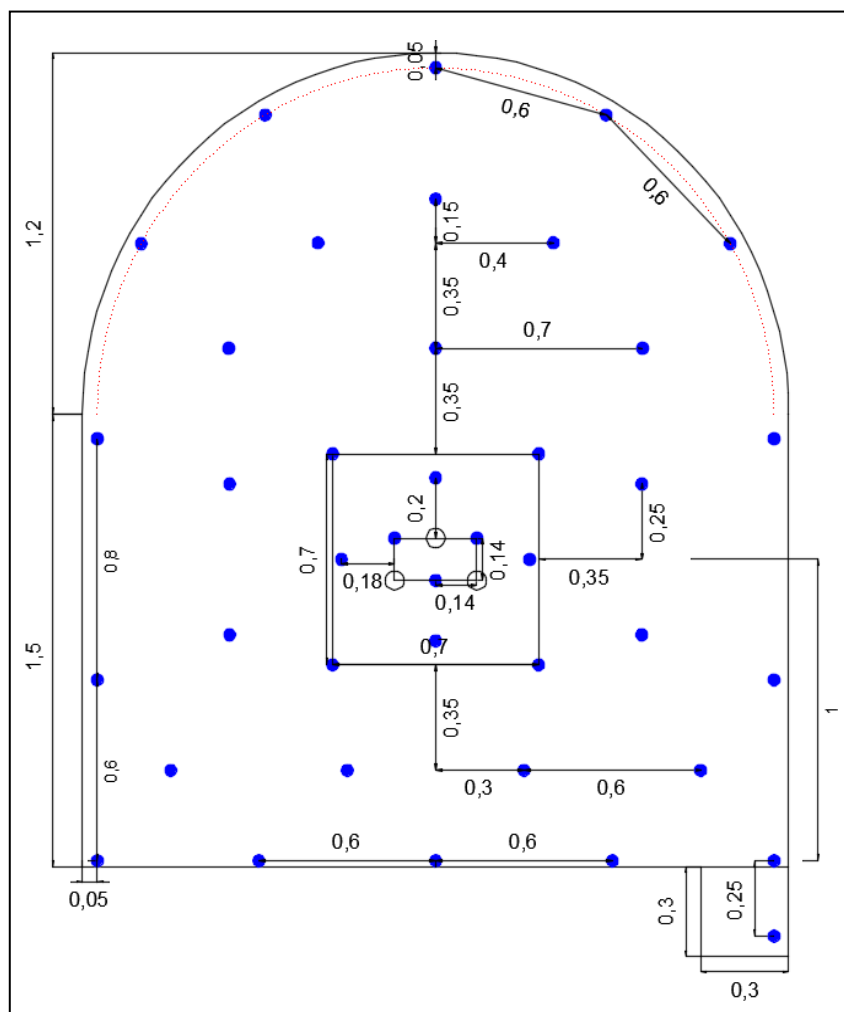


Figura N° 7: Malla de perforación - Sección 2.40m x 2.70m, 8' de longitud de perforación



Tabla N° 8: Distribución de la carga explosiva, 8'

DISTRIBUCION DE CARGA	N° TAL.	CEBO		COLUMNA	
		Cant.	Tipo	Cant.	Tipo
ARRANQUE.	7	1	S	11	S
AYUD. ARRANQUE.	4	1	S	9	S
PRODUCCION.	5	1	S	7	S
CUADRADORES.	4	1	S	7	S
AYUD. ARRASTRE.	4	1	S	7	S
ARRASTRE.	5	1	S	8	S
AYUD. CORONA.	5	1	S	7	S
CORONA.	5	1	S	7	Ex
CUENTA.	1	1	S	6	S

Tabla N° 9: Datos generales de la sección, 8' de perforación

SECCION (m):	2,40 x 2,70
LONG. PERF:	8'
N° TALADROS:	43
TAL. CARGADOS:	40
Ø DE TALADRO:	38 mm.
Ø DE TALADRO ALIVIO:	64 mm.
<b>ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS</b>	
Mecha Rápida	1 m.
Cordón Detonante	25 m.
Carmex	2 und.
Mininel	40 und.
Semexsa 65% (S)	325 cart.
Exsadit 45% (Ex)	35 cart.
N° CART.	355 cart.
<b>Factor de potencia: 1,86 kg/m<sup>3</sup></b>	

a) Para longitud de perforación de 6'

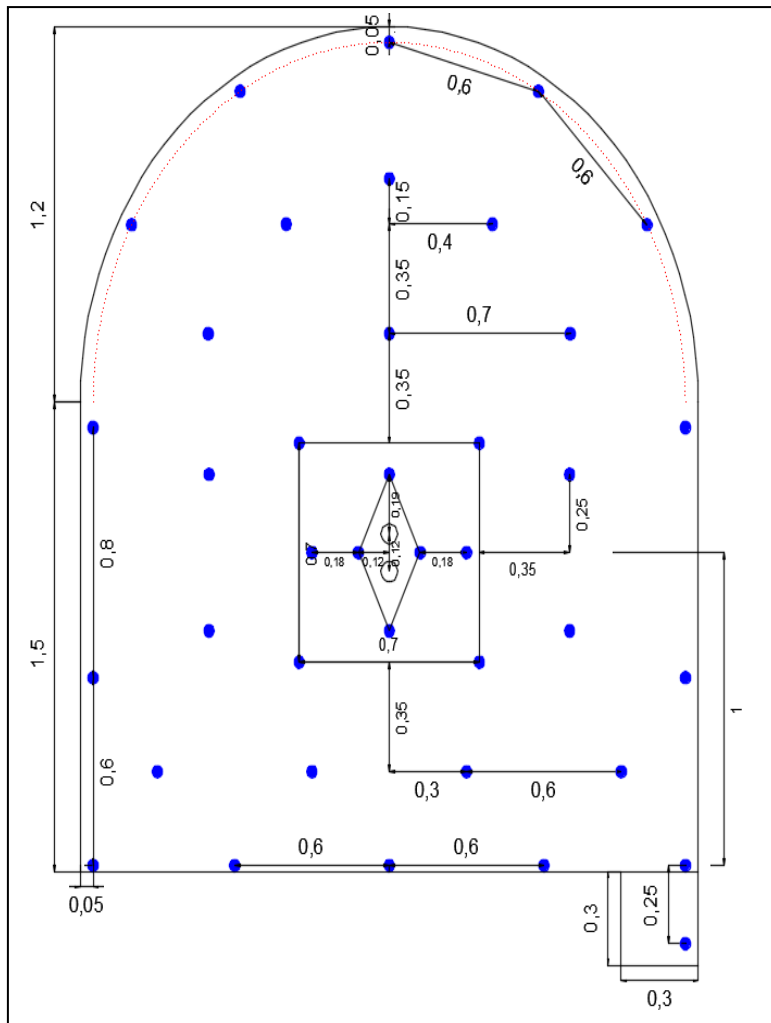


Figura N° 8: Malla de Perforación - Sección 2.40m x 2.70m 6' de longitud de perforación

Tabla N° 10: Distribución de la carga explosiva, 6'

DISTRIBUCION DE CARGA	N° TAL.	CEBO		COLUMNA	
		Cant.	Tipo	Cant.	Tipo
ARRANQUE.	6	1	S	7	S
AYUD. ARRANQUE.	4	1	S	6	S
PRODUCCION.	5	1	S	6	S
CUADRADORES.	4	1	S	5	S
AYUD. ARRASTRE.	4	1	S	6	S
ARRASTRE.	5	1	S	6	S
AYUD. CORONA.	5	1	S	6	S
CORONA.	5	1	S	5	Ex
CUENTA.	1	1	S	6	S

Tabla N° 11: Datos generales de la sección, 6' de perforación

SECCION (m):	2,40 x 2,70
LONG. PERF:	6'
N° TALADROS:	41
TAL. CARGADOS:	39
Ø DE TALADRO:	38 mm.
Ø DE TALADRO ALIVIO:	64 mm.
<b>ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS</b>	
Mecha Rápida	15 m.
Carmex	39 und.
Semexsa 65% (S)	245 cart.
Exsadit 45% (Ex)	25 cart.
N° CART.	270 cart.
<b>Factor de potencia 1,82 kg/m<sup>3</sup></b>	

#### 4.1.3. Mallas de perforación y voladura de la investigación

Para la investigación se consideró que el tipo de roca es de calidad es de RMR 35, por lo que es de calidad mala, IVA, por lo tanto, se diseñó las siguientes mallas de perforación para la sección de 2,40m x 2,70m.

Para longitud de perforación de 8'.

Para un tipo de roca IVA, y una longitud de 8 pies de perforación se realizó

el siguiente diseño:

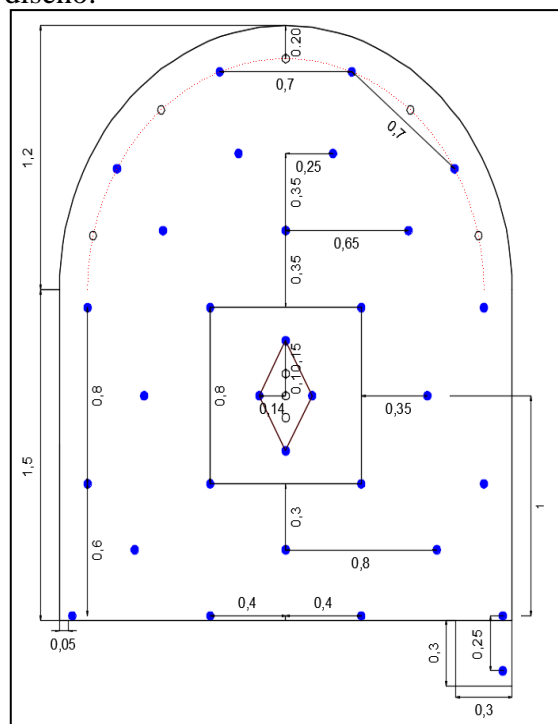


Figura N° 9 Malla de perforación - sección 2.40m x 2.70m, 8' de longitud de perforación, IVA.

Tabla N° 12: Distribución de la carga explosiva, 8', IVA.

DISTRIBUCION DE CARGA	N° TAL.	CEBO		COLUMNA	
		Cant.	Tipo	Cant.	Tipo
ARRANQUE.	4	1	S	10	S
AYUD. ARRANQUE.	4	1	S	8	S
PRODUCCION.	3	1	S	7	Ex
CUADRADORES.	4	1	S	7	Eb
AYUD. ARRASTRE.	3	1	S	7	Ex
ARRASTRE.	4	1	S	8	Ex
AYUD. CORONA.	4	1	S	6	Ex
CORONA.	4	1	S	5	Eb
CUENTA.	1	1	S	6	Ex

Tabla N° 13: Datos generales de la sección, 8' IVA

SECCION (m):	2,40 x 2,70
LONG. PERF:	8'
N° TALADROS:	39
TAL. CARGADOS:	31
Ø DE TALADRO:	38 mm.
Ø DE TALADRO ALIVIO:	64 mm.
<b>ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS</b>	
Mecha Rápida	1m.
Espaciador de agua	12 und.
Carmex	2 und.
Cordón detonante	25 m.
Mininel	31 und.
Semexsa 65% (S)	103 cart.
Exsadit 45% (Ex)	104 cart.
Esxablock (Eb)	48 cart.
N° CART.	255 cart.
Cantidad de expl.	20,82 kg

Debido a que el terreno es de mala calidad se realizó una voladura controlada en la corona de la labor con espaciadores de agua, tal como se muestra en la figura siguiente:

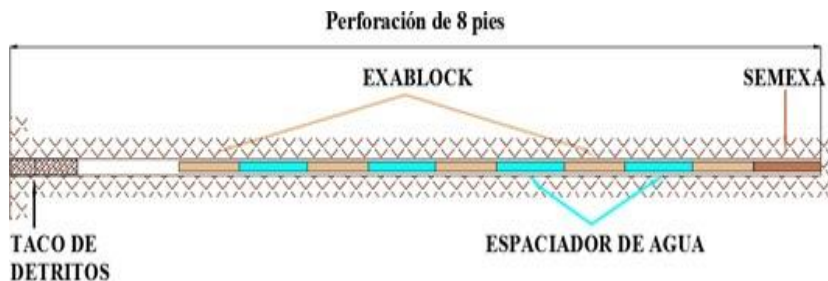


Figura N° 10: Espaciador de agua de la corona de la labor, 8', IVA.

Para longitud de perforación de 6'.



Tabla N° 15: Datos generales de la sección, 6', IVA

SECCION (m):	2,40 x 2,70
LONG. PERF:	6'
N° TALADROS:	39
TAL. CARGADOS:	31
Ø DE TALADRO:	38 mm.
Ø DE TALADRO ALIVIO:	64 mm.
<b>ACCESORIOS Y EXPLOSIVOS</b>	
Mecha Rápida	15 m.
Espaciador de agua	8 und.
Carmex	31 und.
Semexsa 65% (S)	91 cart.
Exsadit 45% (Ex)	78 cart.
Esxablock (Eb)	32
N° CART.	201 cart.
Cantidad de expl.	16,37 kg

También se implementó el uso de espaciadores de agua en la corona de la labor, por tipo de terreno que es mala.



Figura N° 12: Espaciador de agua en la corona de la labor, 6', IVA

#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

##### 4.2.1. Presentación de los resultados

##### Subnivel SN 3257-S

Una vez realizado los diseños de las mallas de perforación y voladura se realizaron los disparos de prueba, primero en el subnivel SN 3257-S en el que se perforó taladros con barrenos de 8 pies, con longitud efectiva 2,10m.



Figura N° 13: Corte en el frente del SN 3257-S

Los resultados se presentan a continuación:

Tabla N° 16: Resultados de disparos en SN 3257-S, con barrenos de 8 pies

	02/08/2021	03/08/2021	04/08/2021	05/08/2021	06/08/2021	07/08/2021	PROMEDIO	
Avance, m	2.05	1.99	2.07	2.02	2	2.01	2.06	<b>2.03</b>
Volumen, m <sup>3</sup>	13.28	12.90	13.41	13.09	12.96	13.02	13.35	<b>13.15</b>
Cantidad de explosivo, kg	20.82	20.82	20.82	20.82	20.82	20.82	20.82	<b>20.82</b>
Factor de avance, kg/m	10.16	10.46	10.06	10.31	10.41	10.36	10.11	<b>10.27</b>
Factor de potencia, kg/m <sup>3</sup>	1.57	1.61	1.55	1.59	1.61	1.60	1.56	<b>1.58</b>

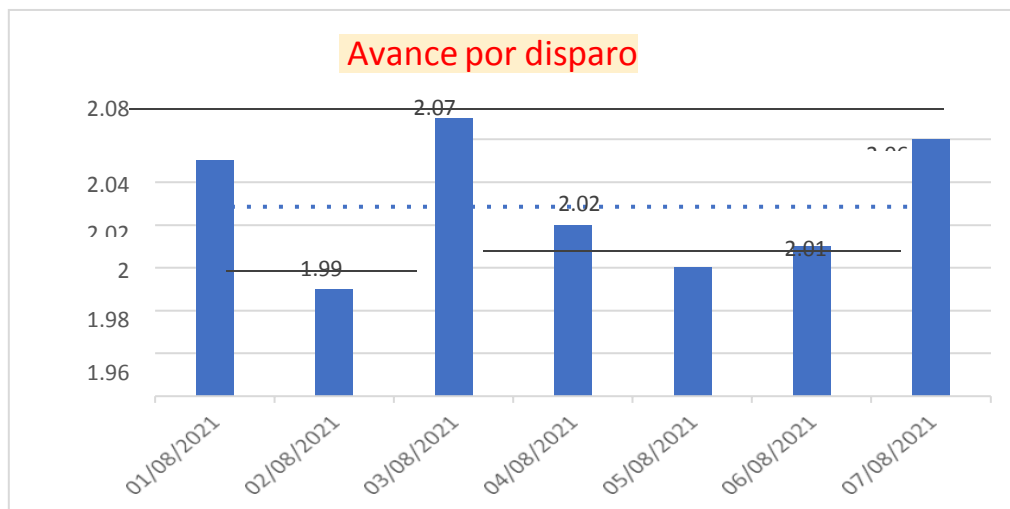


Figura N° 14: Avance por disparo con 8 pies

## Crucero XC 9109-NE

Realizado los disparos en el subnivel, se procedió a realizar el mismo en el crucero XC 9109-NE, con barrenos de 6 pies, con longitud efectiva de 1,55 m.



Figura N° 15: Corte en el frente del XC 9109-NE.

Los resultados son mostrados a continuación en la siguiente Tabla:

Tabla N° 17: Resultados de disparos en XC 9109-NE, con barrenos de 6 pies

	10/08/2021	11/08/2021	12/08/2021	13/08/2021	14/08/2021	15/08/2021	16/08/2021	PROMEDIO
<b>Avance, m</b>	1.52	1.5	1.54	1.56	1.54	1.53	1.52	<b>1.53</b>
<b>Volumen,m<sup>3</sup></b>	9.85	9.72	9.98	10.11	9.98	9.91	9.85	<b>9.91</b>
<b>Cantidadde explosivo,kg</b>	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	16.37	<b>16.37</b>
<b>Factor de avance, kg/m</b>	10.77	10.91	10.63	10.49	10.63	10.70	10.77	<b>10.70</b>
<b>Factor de potencia,kg/m<sup>3</sup></b>	1.66	1.68	1.64	1.62	1.64	1.65	1.66	<b>1.65</b>

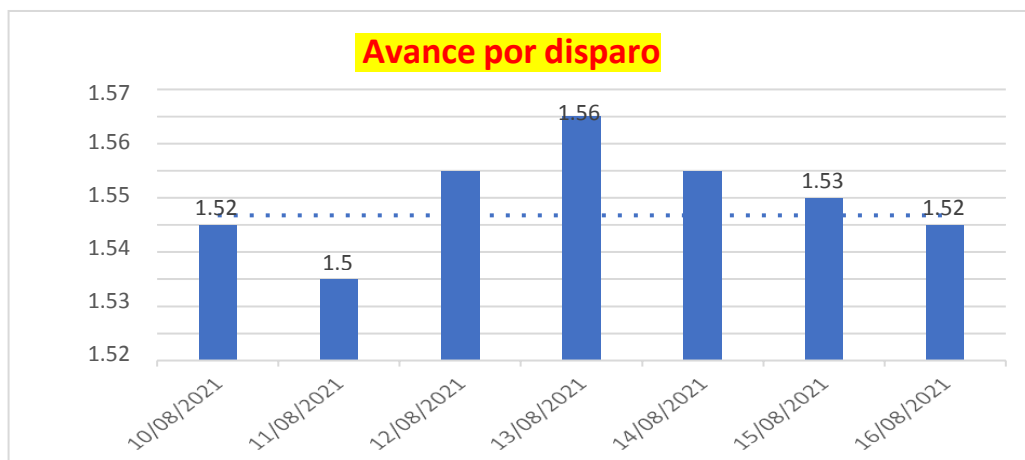


Figura N° 16: Avance por disparo con 6 pies.



#### **4.2.2. Análisis e interpretación**

##### **a) Subnivel SN 3257-S**

Tal como se puede ver en los diseños de las mallas para la sección de 2,40mx 2,70m, en el caso del SN 3257-S, se ha reducido el número de taladros de 43 y con 40 con carga explosiva; a 39 taladros perforados y 31 con carga explosiva; la cantidad total de taladros se reduce en 10,3% y los taladros con carga explosiva se disminuyen en 29%. La explicación es que el terreno es malo con RMR 35, promedio que se interpreta de calidad mala.

También se puede observar que la reducción de la cantidad de taladros con carga explosiva permite el menor consumo de explosivo, de modo que mientras que anteriormente el factor de carga era 1,86 kg/m<sup>3</sup>, con el nuevo esquema se logró un promedio de 1,58 kg/m<sup>3</sup>, que significa una reducción del 18%, lo cual es muy significativo e indirectamente se puede decir que se mejora la sobrerotura.

Del trabajo de prueba realizado se puede decir que los resultados son adecuados porque respecto a la desviación estándar de los avances tiene valor como 0,03 y mientras que con relación al factor de potencia la desviación estándar es de 0,02; en ambos casos los promedios son posibles de lograr cotidianamente.

##### **Crucero XC 9109-NE**

De igual manera en el caso de la malla para la sección de 2,40mx2,70m, en el caso del XC 9109-NE, se ha considerado la misma cantidad de taladros que para el subnivel porque se trata de labores con la misma sección de modo que podemos decir que la cantidad total de taladros se reduce en 10,3% y los taladros con carga explosiva se disminuyen en 29%. También la explicación es similar porque ambas labores se están ejecutando en terreno de mala calidad de RMR 35.

De acuerdo a la Tabla 8, se tiene que el factor de potencia era de 1,82kg/m<sup>3</sup>. Con el diseño asumido se logra obtener un factor de carga promedio de 1,65kg/m<sup>3</sup>, que significa una reducción del 10,4%; es decir, existe menor consumo de explosivo que lo realizado antiguamente.

De los resultados obtenidos respecto a los avances y el factor de carga determinado se obtiene promedios que tienen en el caso de los avances una desviación estándar de 0,0191 y en el caso del factor de potencia es 0,02. De modo que se puede afirmar que los resultados son alcanzables de manera continua por tener, en ambos casos, una baja desviación.

De manera general en ambos casos se ha introducido el uso de separadores con agua para poder reducir la cantidad de carga explosiva en la corona de las labores y disminuir las sobreroturas, con la finalidad de tener mayor estabilidad en el techo y mejorar las condiciones de seguridad.

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

Para la demostración de las hipótesis de investigación, en el caso de la hipótesis general se confirma la hipótesis propuesta, porque se ha establecido fehacientemente que el nuevo diseño de las mallas de perforación y voladura, tanto para el subnivel como para el cruce, involucran la disminución de la cantidad del número total de taladros, así como la reducción del consumo de la dinamita, expresados en la reducción de los factores de potencia en cada caso. Por lo tanto, el estudio geomecánico influye significativamente en el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSA.

De lo señalado, y teniendo en cuenta las hipótesis específicas, también en ambos casos de las labores se ha logrado la reducción de la cantidad de taladros

perforados y los taladros con carga explosiva, de modo que se puede afirmar que también se observa que el estudio geomecánico influye en la perforación de la cantidad de taladros en las labores de desarrollo.

De igual manera, con las pruebas realizadas se establece que el avance, el factor de avance y el factor de potencia que son los principales indicadores de las operaciones unitarias de perforación y voladura quedan establecidas para que los encargados de dichas actividades mineras los tengan como metas en el desarrollo de las labores tales como el subnivel y el cruce, es decir que con un rediseño que tiene en cuenta las condiciones geomecánicas se obtuvieron indicadores de perforación y voladura reales.

#### **4.4. Discusión de resultados**

De los resultados obtenidos en la investigación se establece que la geomecánica es una ciencia importante que al ser relacionado con las actividades de perforación y voladura puede ser una herramienta muy útil, porque nos permite dimensionar la cantidad de taladros en un frente; además, nos permite tener en cuenta la importancia de la seguridad en las labores ya que en zonas de rocas de mala calidad es posible la presencia de zonas inestables, principalmente en los techos de la labor por lo que sugiere indirectamente el uso de menor cantidad de carga explosiva en la corona, lo cual se ha conseguido con el uso de separadores de agua y evitar sobrerotura.

La reducción de carga explosiva además de mejorar la seguridad en las labores de trabajo, también permite la protección del ambiente de trabajo porque la reducción de carga explosiva permitirá la mitigación del exceso de vibraciones, que es importante porque de manera general en las operaciones el terreno es de mala calidad.

## CONCLUSIONES

1. El estudio geomecánico de las labores del nivel 3220 influye significativamente en el diseño de las mallas perforación y voladura en las operaciones de perforación y voladura de Minera Aurífera Retamas.
2. En el subnivel SN 3257-S, se ha reducido el número de taladros de 43 perforados y con 40 con carga explosiva; a 39 taladros perforados y 31 con carga; la cantidad total de taladros se reduce en 10,3% y los taladros con carga explosiva se disminuyeron en 29%.
3. En el subnivel SN 3257-S el factor de carga era 1,86 kg/m<sup>3</sup> con el nuevo esquema se logró un promedio de 1,58 kg/m<sup>3</sup>, que significa una reducción del 18%, lo cual es muy significativo e indirectamente se puede decir que se mejora la sobrerotura.
4. En XC 9109-NE el factor de potencia era de 1,82kg/m<sup>3</sup>. Con el nuevo diseño se logra obtener un factor de carga promedio de 1,65kg/m<sup>3</sup>, que significa una reducción del 10,4%; es decir, existe menor consumo de explosivo que lo realizado anteriormente.
5. Estadísticamente de los resultados obtenidos respecto a los avances y el factor de carga se obtienen promedios en el avance una desviación estándar de 0,0191 y en el caso del factor de potencia es 0,02. De modo que se puede afirmar que los resultados son alcanzables de manera continua por tener, en ambos casos, una baja desviación.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda a los encargados de la perforación y voladura trazar como indicadores el avance, el factor de potencia y el factor de avance de terminados como los objetivos de dichas operaciones.
2. Se recomienda realizar capacitaciones constantes para implementar correctamente los espaciadores de agua en la corona de las labores.
3. Se recomienda tener presente de manera cotidiana los estudios de geomecánica para poder considerar algunos cambios de los diseños establecidos.
4. Se recomienda no dejar de pintar las mallas de perforación y perforar los taladros con gran paralelismo para mejorar los avances y disminuir los factores de potencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ames, V., & León, G. (2007). Tecnología de Explosivos. Huancayo, Perú.
- Depaz, L, y Cáceres, C. (2018). Geomecánica aplicada al diseño de malla de perforación de la Ga – 475E del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, MYSAC año 2016. Huaraz, Perú, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- EXSA. (s.f.). Manual Práctico de Voladura. Edición Especial Famesa. (2017). Ficha técnica accesorios de voladura.
- Inga, C. (2016). La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en Compañía Minera Raura S.A.C. Huancayo, Perú: Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2003). Manual de perforación y voladura de rocas.
- Ramos, O. (2017). Diseño y evaluación de la voladura de pre-corte en el Tajo Pomarani - Untuca - Coripuno SAC. 2016. Puno, Perú: Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### MATRIZ DE CONSISTENCIA

“ESTUDIO GEOMECÁNICO Y SU INFLUENCIA EN DISEÑO DE MALLAS PERFORACIÓN Y VOLADURA EN MARSAS - 2021”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES
¿Cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSAS 2021?	Establecer cómo el estudio geomecánico influye el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSAS.	El estudio geomecánico influye significativamente en el diseño de las mallas perforación y voladura en MARSAS.	• <b>Variable Independiente:</b> Estudio geomecánico.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	• <b>Variable Dependiente:</b>
a. ¿En cuánto el estudio geomecánico influye en la cantidad de taladros en las labores de MARSAS 2021?	a. Determinar en cuánto el estudio geomecánico influye en la cantidad de taladros en las labores de MARSAS.	a. El estudio geomecánico influye significativamente en la cantidad de taladros en las labores de MARSAS.	<b>Dependiente:</b> Diseño de mallas de perforación y voladura.
b. ¿Cómo el estudio geomecánico influye en los indicadores de la perforación y voladura en MARSAS 2021?	b. Establecer cómo el estudio geomecánico influye en los indicadores de la perforación y voladura en MARSAS.	b. El estudio geomecánico influye significativamente en los indicadores de la perforación y voladura en MARSAS.	

## ANEXO 2

### INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formato para anotación de rasgos del estudio geomecánico

Tipo Labor	Labor	Ref.Topog.	RMR BÁSICO	RMR BÁSICO	RMR AJUSTADO	RMR AJUSTADO
			(Valor)	(Tipo)	(Valor)	(Tipo)

FORMATO PARA OPERACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA								
Fecha	L.Barra	L. Perforación	E. Perforación	N° Taladros perforados	Metros perforados	N° Taladros cargados	N° Taladros de alivio	Cantidad de explosivos

La unidad de longitud utilizada son los metros(m)





## ANEXO 4


Validez y confiabilidad de los datos cuantitativos

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son válidos.	X	
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son confiables.	X	
Los datos constituyen un riesgo para la prueba de hipótesis		X

	Evaluación general de los datos			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del cuestionario	X			

<b>Observaciones y recomendaciones en general del cuestionario:</b>
NINGUNO

<b>Datos del experto:</b>	
Nombres y Apellidos.	Víctor Alejandro AMES LARA
Mayor grado académico.	DOCTOR EN SEGURIDAD Y CONTROL Y MINERIA
Especialidad.	INGENIERO DE MINAS
Firma.	
Fecha.	15/12/2021


## Validez y confiabilidad de los datos cuantitativos

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son válidos.	X	
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son confiables.	X	
Los datos constituyen un riesgo para la prueba de hipótesis		X

	Evaluación general de los datos			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del cuestionario		X		

<b>Observaciones y recomendaciones en general del cuestionario:</b>
NINGUNO

<b>Datos del experto:</b>	
Nombres y Apellidos.	DR. Saul MAYOR PARIONA
Mayor grado académico.	DOCTOR EN SEGURIDAD Y CONTROL Y MINERIA
Especialidad.	INGENIERO DE MINAS
Firma.	
Fecha.	15/12/2021

Validez y confiabilidad de los datos cuantitativos

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son válidos.	X	
Los datos cuantitativos obtenidos en las pruebas son confiables.	X	
Los datos constituyen un riesgo para la prueba de hipótesis		X

	Evaluación general de los datos			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del cuestionario		X		

<b>Observaciones y recomendaciones en general del cuestionario:</b>
NINGUNO

<b>Datos del experto:</b>	
Nombres y Apellidos.	Mg. Edwin Elías, SANCHEZ ESPINOZA
Mayor grado académico.	MAGISTER EN INGENIERIA DE MINAS
Especialidad.	INGENIERO DE MINAS
Firma.	
Fecha.	15/12/2021