



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA POR  
MEDIO DE LA CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA  
EVITAR SOBRE ROTURA EN UM LAS ÁGUILAS CIEMSA.**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. FREDY ALEX PILCO PARISUAÑA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

Dedico este informe con profundo agradecimiento a Dios todo poderoso por mantenerme con vida, salud y poder hacer realidad uno más de mis propósitos profesionales el de ser bachiller y muy pronto ingeniero de minas.

A mis padres Ernesto y Paulina por brindarme su apoyo incondicional, comprensión y educación durante esta larga y bonita carrera de Ing. de Minas. A mis hermanos Hernán Paul, Yaneth Magaly, Danitza Érica quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo.



## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser quien me ha dado la fé, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo de investigación; a mis padres Ernesto y Paulina, a mis hermanos Hernán, Yanet, Danitza, por todos esos sacrificios y por todo ese apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida, para lograr este paso tan importante y seguir avanzando con mis estudios; a mis familiares y amigos, que con su apoyo pude lograr este sueño; a los profesores que aportaron sus conocimientos y a la institución que más que una universidad es mi segundo hogar, a los que nunca dudaron que lograría este paso en mi vida y siempre creyeron en mí para formarme como un buen profesional en Ingeniería de Minas.



## TRABAJO DE INVESTIGACIÓN MODALIDAD ARTÍCULO CIENTÍFICO

### INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
I.INTRODUCCIÓN .....	8
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	9
III. CONCLUSIONES .....	13
IV. AGRADECIMIENTOS .....	14
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	14

**Área** : Ingeniería de Minas.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 13 de diciembre del 2019.



## INDICE DE FIGURAS

Figura 01 fotografía Malla de Perforación estándar .....	10
Figura 02: Fotografía Malla de Perforación estándar .....	10
Figura 03: Resultados Programa de Sismógrafo .....	11
Figura 04: Resultados programa wipfrag 2010 .....	11

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Tabla de Malla de Perforación .....	10
Tabla 02: Fotografía Malla de Perforación estándar .....	10
Tabla 03: Resumen de datos .....	12



# **Implementación de Diseño de malla de perforación y voladura por medio de la clasificación del macizo rocoso para evitar sobre rotura en UM Las Águilas CIEMSA**

Design of drilling and blasting mesh by classifying the rocky maceum to avoid over breakage in UM Las Águilas CIEMSA

Fredy Alex Pilco Parisuaña

Universidad Nacional del Altiplano - Puno - Perú

Facultad de Ingeniería  
de Minas  
[alexfredy.fim@gmail.com](mailto:alexfredy.fim@gmail.com)  
51931009949

## **RESUMEN**

En el presente estudio del tipo descriptivo, se detalla la caracterización del macizo rocoso para el diseño de malla de perforación y voladura para un mejor control en las coronas y hastiales, teniendo presente que es muy importante el uso de explosivos de baja energía, para reducir y controlar la del contorno en frentes de avance. Dicho estudio se realizó a cabo en la Empresa Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S. A. (CIEMSA), ubicada dentro de la jurisdicción del Distrito de Ocuwiri, en la provincia de Melgar Ayaviri, Región de Puno, en la fecha de junio del 2018. El objetivo fue determinar la caracterización del macizo rocoso en la GI 432 Nv 4580 Veta Marisol y a partir de ello generar una malla de perforación adecuada para la roca. En Mina Las Águilas, se encontraron factores de carga lineal elevados en tipo de roca IV, con factor de 12.45 kg/m y para un tipo de roca II y III en 13.20 kg/m, esto debido al uso excesivo de Emulnor® 3000 de 1"x8". Para esto se hizo el seguimiento en campo y al momento de la perforación, después de esto se marcó la malla de perforación y se realizó el carguío. Seguidamente se verificaron los niveles de fragmentación. Además, se recomendaron los tipos de explosivo a utilizar dependiendo del tipo de roca a trabajar. Para el tipo de roca IV, se redujo la carga lineal en 1.15 kg/m (2 cartuchos en la corona y 1 cartucho para los hastiales). Y en rocas tipo II y III se redujo en 0.75 kg/m donde se combinaron las emulsiones. Utilizando explosivos de mayor energía para el arranque, ayudas y piso.

Palabras clave: Evaluación, geomecánica, caracterización, fragmentación.



## ABSTRACT

The characterization of the rock mass is described in the research for the design of drilling and blasting mesh for better control in crowns and walls keeping in mind that the use of low energy explosives is very important, to reduce and control the stability of the contour at the advance fronts. This study was carried out at the Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros SA (CIEMSA), located within the jurisdiction of the Ocuvi District, in the province of Melgar Ayaviri, Puno Region, June 2018. The objective was to determine the characterization of the rock massif in Gl 432 Nv 4580 Veta Marisol and from this generate a suitable drilling mesh for the rock. At Las Águilas Mine, high linear load factors were found in rock type IV, with a factor of 12.45 kg / m and for a rock type II and III in 13.20 kg / m, this due to excessive use of Emulnor® 3000 of 1 "x8". For this, the field monitoring was performed and at the time of drilling, after this the drilling mesh was marked and the loading was performed. Then the levels of fragmentation were verified. In addition, the types of explosives were recommended to use depending on the type of rock to work. For type of rock IV, linear load was reduced by 1.15 kg / m (2 cartridges in the crown and 1 cartridge for the gables). And in rocks type II and III it was reduced by 0.75 kg / m where the emulsions were combined. Using higher energy explosives for starting, aids and floor.

Keywords: Evaluation, geomechanics, characterization, fragmentation.

## I. INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se detallan los estudios a realizarse en coordinaron con el Ing. Salvador Tuncar, (Superintendente General de Proyectos). Para la evaluación en perforación & voladura y reducir la cantidad de explosivos en los taladros en una roca de tipo III y IV para evitar la sobre rotura. Los disparos de prueba se realizaron en la zona Marisol, en las siguientes labores; BP 510, GL 432, CX 443 y TJ 490.

De las cuales el objetivo de este artículo de investigación solo es la GL 432.

Chura-Lope (2016), menciona la contribución del estudio, *“el uso de la ciencia relacionada al material rocoso que comprende la geología y geomecánica (modelo geológico, modelo estructural del macizo rocoso, modelo hidrológico y el modelo geotécnico), jugaron un rol importante”*.

Numerosos estudios argumentan la necesidad de proponer y validar métodos que permitan, en forma sólida establecer las propiedades del macizo rocoso encaminadas a la caracterización geomecánica (Cartaya-Pire, 2006).

Una cuestión importante en la construcción de una excavación subterránea es definir las características y el comportamiento mecánico-estructural del macizo, aspecto que tiene una marcada incidencia en el laboreo, sostenimiento y explotación en minería

(Adeoluwa Olajesu, Noa Monjes, & Quevedo Sotolongo, 2017).

La clasificación de los macizos rocosos surgió desde la década del 40 del siglo XX y muchos investigadores lo han utilizado para proponer soluciones a diferentes problemas en minas y túneles (Bieniawski, 1989).

Azuarte-Mendoza (2004), tesis de grado menciona que, *“todas estas clasificaciones son congruentes entre sí sobre el tipo de macizo que se ha caracterizado, evitándose incongruencias y variedad de criterios al momento de clasificarlos por uno u otro sistema”*.

Cartaya-Pire (2006), la tesis menciona, *“Se obtienen un grupo de criterios geomecánicos – estructurales que pueden ser aplicados para el diseño de excavaciones y obras subterráneas, fundamentando su empleo”*.

El diseño de investigación según, constituye un plan general para obtener respuestas a interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación y desglosar las estrategias básicas que el investigador adopta para generar información exacta e interpretable (Reverón-Hernández, 2013).

El propósito es que la mecánica de rocas o más ampliamente la geomecánica, tal como se le conoce en la actualidad, es una disciplina que en las últimas tres décadas ha tenido grandes progresos, convirtiéndose en una herramienta tecnológica más en la industria minera en particular y en otras ramas de la ingeniería en general. Para su aplicación efectiva al minado subterráneo (Cordova-Rojas, 2008)

Albarracin-Sepulveda & Gómez-Acevedo (2002), en su trabajo técnico menciona “*los datos tomados en campo y mediante la utilización del software Dips se determinaron familias de discontinuidades en el macizo, las cuales se pueden observar en los diagramas de polos, frecuencias y rosetas*”.

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se aplicó la clasificación geomecánica (Bieniawski, 1989), la que ha sido utilizada por varios investigadores (González de Vallejo, 2002).

La hipótesis es detallar y realizar estudios para su estabilidad. De ahí conocerá detalle la caracterización geomecánica del macizo, para evitar el mal direccionamiento y sobre dimensionamiento de sus desarrollos mineros (Chura-Lope, 2016).

Aplicar controles para reducir el daño y evitar sobre rotura, usando Carmex®. Diseño y marcado de malla de perforación, disminuir la dilución, mejorar la fragmentación.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la UM las Águilas de la empresa CIEMSA en la jurisdicción del distrito de Ocuwiri en la provincia de Melgar Ayaviri, región Puno. Cuyas coordenadas UTM, 309000E, 8332450N, a una altitud de 4,480 metros sobre el nivel del mar.

Con el objetivo de estandarizar la malla de perforación mediante la clasificación del macizo rocoso en la GI 432 de la Veta Águila Norte de la

guardia día.

1. Para esta investigación fue necesario contar con un laboratorio de geomecánica que nos brindó la información necesaria el departamento de geotecnia y geomecánica de CIEMSA. Se realizaron ensayos que permitan obtener las propiedades mecánicas del macizo rocoso presente en la labor para los análisis, en tal forma que sean lo más representativos de las situaciones reales en el campo, son los siguientes:

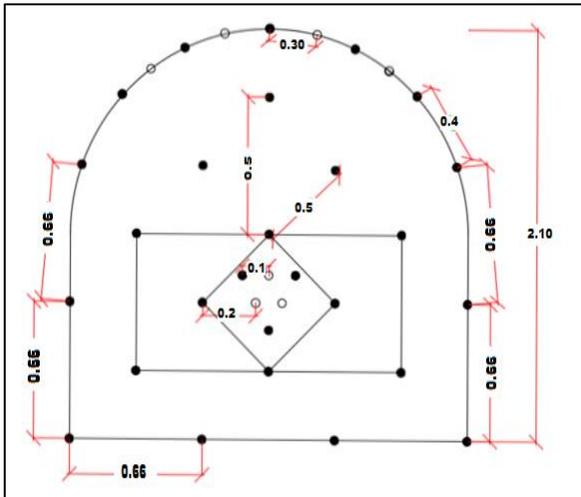
- Ensayo de RMR
- Ensayo USC
- Ensayo RQD

Se muestra a continuación en la tabla 01

2. El diseño de malla de perforación se diseñó a partir de la caracterización del macizo rocoso con los siguientes datos:

- Cantidad total de taladros : 33
- Cantidad taladros cargados : 30
- Cantidad Emulnor 3000 : 90
- Cantidad Emulnor 1000 : 58
- Total explosivos (Kg) : 16.17
- Avance efectivo (m) : 1.12
- Factor de avance (Kg/m) : 11.10
- Factor de carga (Kg/m<sup>3</sup>) : 2.51
- La descripción detallada y la distribución de cantidad de explosivos por taladros se encuentra en el cuadro 02

Figura 01 fotografía Malla de Perforación estándar



Fuente: Imagen Propia

Tabla 01: Tabla de Malla de Perforación

ESTUDIO DE CLASIFICACIÓN GEO MECANICA DE LA GALERÍA 432 NV 4580 VETA MARISOL	
UCS	50 Mpa
RQD	49
RMR	38

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 02: Fotografía Malla de Perforación estándar

DESCRIPCION	N° TALADROS	N° TAL. CARGADOS
ALIVIO	3	-
ARRANQUE	3	3
1 AYUDA DE ARRANQUE	4	4
2 AYUDA	4	4
3 SUB AYUDA	4	4
CUADRADOR	2	2
AYUDA CORONA	2	2
CORONA	5	5
AYUDA ARRASTRE	2	2
ARRASTRE	4	4
TOTAL	33	30

Fuente: geomecánica Ciemsa

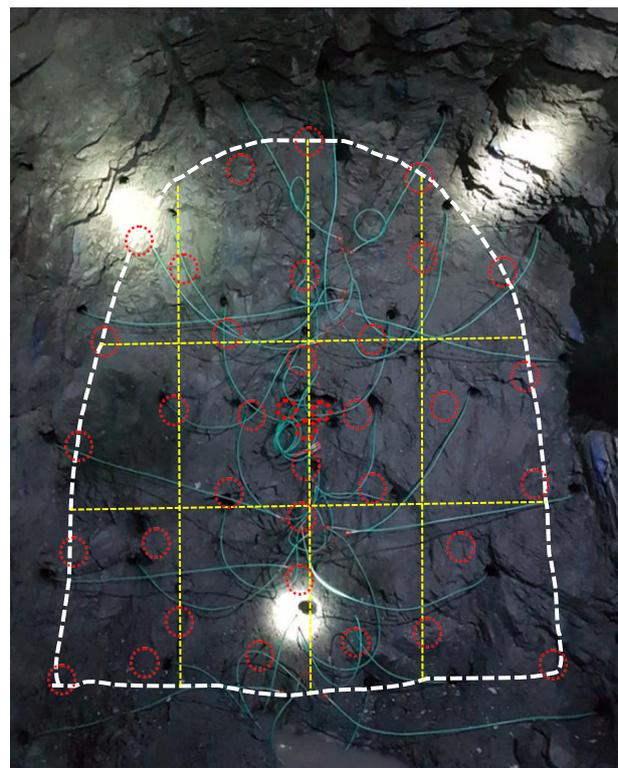


Figura 02: Fotografía Malla de Perforación estándar

Fuente: Imagen Propia

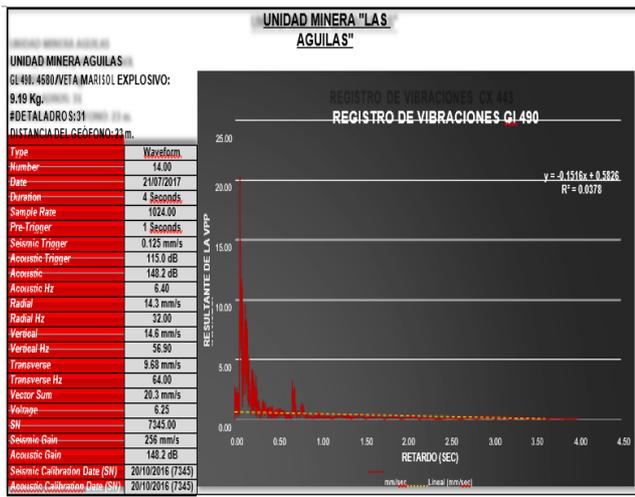


Figura 03: Resultados Programa de Sismógrafo

Fuente: Imagen Propia

Para la caracterización geomecánica del macizo rocoso se aplicó la clasificación geomecánica (Bieniawski, 1989), la que ha sido utilizada por varios investigadores (González de Vallejo, 2002).

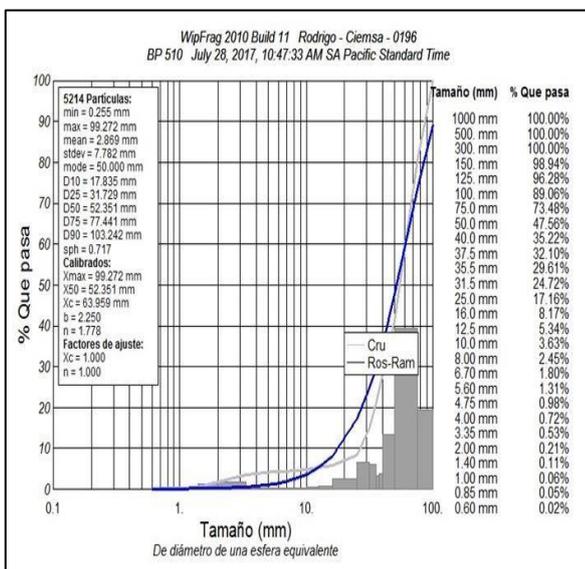


Figura 04: Resultados programa wipfrag 2010

Fuente: Programa del Sismógrafo

## Monitoreo De Vibraciones

Para el monitoreo de vibraciones se ha hecho uso de un sismógrafo White Mini Seis III, para analizar daños producidos post voladura en los disparos de Breasting y Realce, de los cuales se ha obtenido las ondas elementales predominantes de una voladura, lo que también permite conocer la Velocidad Pico Partícula (VPP) dado en mm/s. A continuación, se detalla los datos obtenidos de los monitoreo de vibraciones.

Para ver los resultados de nuestro cuadro de cálculos que tuvimos fue necesario tomar en cuenta el equipo de Sismógrafo White Mini Seis III. Y wipfrag 2010. Para ver el monitoreo de vibraciones y ver los tamaños de las esferas que teníamos después del disparo De los registros obtenidos, se ha elaborado un cuadro, donde se aprecia la VPP máxima de la voladura y la frecuencia predominante para la prevención de daños. El grafico se ha elaborado según la USBM And OSMRE (Ver Anexo N°1), lo que menciona es que no se debe de sobrepasar de una VPP de 50 mm/s, para frecuencias mayor a 40 Hz. Se detalla los registros de VPP y frecuencia:

## Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Un instrumento de recolección de datos es un recurso que se requiere para acercarse a los

fenómenos y extraer de ellos información dentro de cada instrumento concreto pueden distinguirse dos aspectos diferentes que son forma y contenido, sintetiza, técnicas de recolección que emplea: Papelería para cálculos previos, guías, diario de campo, libreta de notas, martillo schmidt, tablas, mapas, cuestionarios, catálogo y brujula brunton (Medina-Aguilar, 2017).

Todos los ensayos de laboratorio fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de rocas y suelos de

Unidad Minera CIEMSA.

Resultados y discusión

Para la Gl. 432 se obtuvo el tipo de roca IVA y IVB a partir de los ensayos que se tuvo por parte del departamento de geotecnia y geomecánica CIEMSA.

Apartir de esta caracterización se continuó con el diseño y estandarización de malla de perforación para el tipo de roca específica IVA y IVB, que en este caso concreto viene a ser los siguientes datos:

Se muestra en la tabla N° 03

Tabla 03: Resumen de datos

DESCRIPCION	N° TALADROS	N° TAL. CARGADOS
ALIVIO	3	-
ARRANQUE	3	3
1 AYUDA DE ARRANQUE	4	4
2 AYUDA	4	4
3 SUB AYUDA	4	4
CUADRADOR	2	2
AYUDA CORONA	2	2

CORONA	5	5
AYUDA ARRASTRE	2	2
ARRASTRE	4	4
TOTAL	33	30

La labor monitoreada fue, GL 432. En los frentes de avance el factor lineal, se encontraba en 12.45 kg/m, Analizando los tipos de roca y realizando los disparos con un explosivo de menor energía se logró reducir los factores a un promedio de 11.10 kg/m. Para esto se reemplazó, las emulsiones 3000 de 1”x8” por los emulsiones 1000, los cuales para un tipo de roca IV, logran una mejor estabilidad de la corona y hastiales, se reduce la cantidad de explosivo y se mejora los factores de avance. En rocas de tipo II y III, es muy importante controlar el paralelismo de perforación y realizar los taladros de alivio con mayor longitud que los taladros de producción, o también utilizar rimadoras o brocas escariadores, esto para asegurar el disparo y mejorar la eficiencia. El factor en este tipo de roca se encontró en 13.20 kg/m, el cual se mejoró combinando emulnor® 3000 para arranque, ayudas y piso y emulnor® 1000 para corona y hastiales. Así como también el uso de tacos de arcilla muy importante para evitar que no se disipe la energía y las presiones de gases. Se reduce el factor a Como se ha podido constatar a lo largo del artículo, se ha tomado la explotación minera como un modelo económico a seguir, lamentablemente sin pensar en un esquema de capital orientado a la explotación de los recursos naturales de manera responsable y sostenible; para ello se hizo la clasificación del macizo



rocoso y una vez obtenida los resultados daremos paso a diseñar o estandarizar una malla de perforación para el tipo de roca.

Actualmente la gran mayoría de las minas formales en el Perú toman en consideración el hacer el estudio del suelo o macizo rocoso para tener mayor control en las excavaciones que se pudieran dar.

*Según, Chura-Lope (2016), “hizo un estudio de caracterización geomecánica del macizo rocoso su aplicación en el diseño de sostenimiento, se muestra una comparación de parámetros tanto el índice RQD y RMR, estos datos tienen influencia directa en la estabilidad de labores”.*

Un estudio en la calidad del macizo rocoso por cualquier método se haga, brindan una información necesaria para tomar en consideración al momento de hacer una excavación con fines mineros y esto evita que se tenga accidentes relacionados al avance de las labores mineras.

*Según, Medina-Aguilar (2017), “hizo un estudio sobre el diseño de cámaras y pilares basado en las características geomecánicas del macizo*

En muchas unidades mineras que aún están en proceso de formalización no se toma en cuenta mucho el tema de estudios en tema de geomecánica que podrían ser a causa de costo o tema de laboratorios de geomecánica o por falta de personal capacitado o simplemente por falta de conocimientos del titular.

Las universidades que cuentan con laboratorios deben hacer dichos estudios puesto que los estudiantes tienen conocimientos geomecánicos y ello ayudaría a la reducir los accidentes que se tiene con frecuencia en muchas labores mineras informales y ello repercute directamente en las familias del afectado

### III. CONCLUSIONES

En la unidad minera Las Águilas se viene realizando la estandarización de las mallas de perforación en base a la calidad de macizo rocoso en este caso específico de la GL 432 del nivel 4580 Águila Norte, con tipo de roca IV A y IV B para lo cual se llegó a la siguiente conclusión:

Que haciendo los ensayos por la clasificación RMR se tuvo una valoración de 38, el cual nos indica un tipo de roca IVA y en algunas zonas también se tiene un tipo de roca de IVB.

Que para el tipo de roca IV A y IV B es suficiente 33 taladros totales y solo 30 taladros cargados, con esto se demostró que es óptimo la voladura y posteriormente la granulometría era buena como para el echadero del Nv 4580.

Para las voladuras con fallas con roca encajonante rodocrosita y otros carbonatos se debe de reforzar el carguío con explosivo de mayor energía (Emulnor® 3000), o sino colocar un cartucho como colchón antes del cebo.

Para los frentes de avance, con tipo de roca IV, se debe dar una secuencia taladro por taladro con el uso de mecha rápida distanciando a 20 cm Para los frentes de tipo de roca II y III es importante reforzar el arranque y las ayudas, esto para evitar que se sople o se anille el disparo. ya sea para 4 pies



cargarlo con 6 cartuchos de emulsión 3000 y para 5 pies con 7 cartuchos.

Para los tajos en realce es importante el marcado del contorno, los líderes y supervisores deben de exigir llevar un buen marcado de la potencia de la veta, y de esta manera evitar dilución en los tajos, además es importante evaluar el tipo de roca para determinar el explosivo a utilizar.

La simpatía de la emulsión es 1.5 veces su diámetro, el cual se cumple con las pruebas realizadas en mina. Distanciado en 1 y 2 pulgadas.

El tiempo de combustión del Carmex® a 4730 m.s.n.m es de 6 minutos con 28 segundos en Mina águilas. Mientras sumergido en agua es 5 minutos con 47 segundos, esto debido a la presión hidrostática que hace que se acelere el quemado del Carmex®.

cada conector con el iniciador pirotécnico, esto para que en el momento de la detonación tenga una secuencia.

Para los frentes de avance de roca tipo IV, se deben de usar explosivos de baja energía emulnor® 1000 y así controlar la corona y los hastiales, para evitar la sobre rotura, previa evaluación del terreno por el líder de la labor y la supervisión.

Un buen paralelismo de taladros perforados nos garantiza una voladura eficiente y un mejor control con el ancho de minado. La supervisión debe de hacer seguimiento minucioso y verificar en campo como se están llevando la perforación cuando se acumulan los taladros.

Se observó, la falta de simetría de los taladros dentro de las mallas de perforación, en taladros asignados a una malla 0.40 m x 0.40 m. hay variaciones y llegan en algunos casos a 0.60 m. x 0.70 m, esto ocasiona que el burden de los taladros hacia la cara libre creada no sean homogéneas entre los taladros que salen en el mismo retardo, por consiguiente hay taladros que necesitan más potencia por el amplio burden y otros taladros tienen exceso de carga por un burden más corto, los cuales producen fallas en la voladura.

#### **IV. AGRADECIMIENTOS**

El autor está muy agradecido con Ing. Omar Rojas Colca, Ing. Miguel Chauca Manrique y a UM CIEMSA por permitirme desenvolverme como pre- profesional, a la Contra Minera Comiserge.

#### **V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Adeoluwa Olajesu, O., Noa Monjes, R., & Quevedo Sotolongo, G. (2017). Caracterización estructural del macizo rocoso de la mina subterránea Oro Descanso. *Minería y Geología*, 33(4), 456–467.
- Albarracin-Sepulveda, O. L., & Gomez- Acevedo, D. C. (2002). Caracterización y clasificación geomecánica de macizo rocoso del sector la sierra, Sogamoso, Boyacá, Colombia. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.



- Azuarte-Mendoza, D. (2004). Caracterización geológica y geomecánica de los macizos rocosos de la Sección Guatire-Caucagua de la Autopista Rómulo Betancourt, estado Miranda (Universidad Central de Venezuela).
- Bieniawski, Z. T. (1989). Engineering Rock Mass Classifications - Z T Bieniawski (ThePenssy). Brady, B. H. (2004). Rock Mechanics for underground mining Klumer Aca.
- Cartaya-Pire, M. (2006). Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la Región Oriental de País. *Minería y Geología*, 22(Julio-Setiembre), 1–54.
- Chura-Lope, W. (2016). Caracterización geomecánica del macizo rocoso y su aplicación en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad económica administrativa Ana María – La Rinconada Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Cordova-Rojas, N. D. (2008). Geomecánica en *el minado subterráneo caso Mina Condestable* Universidad Nacional de Ingeniería.
- González de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica (Madrid: Pe).
- Medina-Aguilar, V. H. (2017). Diseño de cámaras y pilares basado en las características geomecánicas del macizo rocoso en la corporación Minera Ananea S.A. - 2016 Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Reverón-Hernández, D. E. (2013). *Dimensionamiento de cámaras y pilares en minería subterránea basado en la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la mina Colombia, El Callao, Estado Bolívar* Universidad Central de Venezuela.