# UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

# "EVALUACIÓN Y CONTROL DE INDICADORES DE VOLADURA DE TAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE TALADROS LARGOS EN LA UNIDAD INMACULADA COMPAÑÍA MINERA ARES"

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

BACH. ERNIE SAMIR TIQUE PUMACAJIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

MOQUEGUA - PERÚ

2020

UNAM
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO POR SUFICIENCIA

Folio N° _____

I. Documento de aprobación del Proyecto de Trabajo de Suficiencia Profesional:
Resolución de Comisión Organizadora N° 0263-2020-UNAM
Fecha: Moquegua, 29 de mayo de 2020

II. El Jurado ha calificado la defensa del Trabajo de Suficiencia Profesional, TITULADO: EVALUACIÓN Y CONTROL DE INDICADORES DE VOLADURA DE TAJOS MEDIANTE EL MÉTODO DE TALADROS LARGOS EN LA UNIDAD INMACULADA COMPAÑÍA MINERA ARES.
Bachiller:
ERNIE SAMIR TIQUE PUMACAJIA
Asesor Principal:
MSc. Ing. OSMAR CUENTAS TOLEDO

III. Se dictamina como aprobado por unanimidad la defensa del trabajo de suficiencia profesional con nota dieciséis ( 16 ), por lo que SI opta el Título Profesional de INGENIERO DE MINAS.

Siendo las 09:30 horas a los 28 días del mes de mayo del año 2020 se procede a la firma con conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

---

Presidente

Mgr. Ing. JORGE LUIS TOMAS FLOREZ SALAS

---

Primer Miembro

Mgr. Ing. VÍCTOR ADRIÁN PONCE ESTRADA

---

Segundo Miembro

Dr. Ing. ARQUÍMEDES LEÓN VARGAS LUQUE

---

Bachiller

Bach. ERNIE SAMIR TIQUE PUMACAJIA

**Dedicatoria**

A Dios por haberme dado la vida protegerme, y ayudarme a conseguir los recursos necesarios para lograr mis metas.

A mi madre Maximiliana Pumacajia Muñoz por su amor y apoyo incondicional, a mi esposa e hijo También a las personas que contribuyeron a mi desarrollo como Profesional, que me acompañaron a lo largo de mi carrera.

## Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por brindarme todos los conocimientos para realizar mis estudios profesionales.

A mi asesor MSc. Ing. Osmar Cuentas Toledo por el apoyo, guía y dirección que me brindo en el desarrollo del tema de investigación.

A los miembros del jurado MGR. Ing. Jorge Luis Florez Salas, MGR. Ing. Víctor Adrián Ponce Estrada y DR. Ing. Arquimedes Leon Vargas Luque, por su colaboración en el desarrollo del trabajo.

Al Ing. Rene Ojeda Mestas Ingeniero Senior de Asistencia Técnica FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. por ser mi mentor durante mi trabajo en la empresa y apoyo en contribuir a realizar el proyecto.

Al Ing. Benjamín Mamani Mamani Superintendente de Mina U.M. Inmaculada, por el apoyo y confianza en asumir nuevos retos en la compañía.

A la empresa FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. acogerme en su plantel laboral y permitirme desarrollarme como ingeniero de minas.

**Resumen**

El presente trabajo como parte del proceso de mejora continua en la U.M. Inmaculada con la asistencia técnica de la empresa Famesa Explosivos S.A.C. se realizó pruebas en la operación unitaria de perforación y voladura de taladros largos cuyo objetivo principal es optimizar los indicadores y minimizar los daños a la caja techo al momento de realizar voladuras de tajos completos (Slot, zanja y filas de producción) para la obtención del mineral, para ello tenemos que determinar el análisis de daño e influencia al macizo rocoso por modelo de Holmberg y Pearson.

Se propuso un diseño para la secuencia de salida de voladura para tajos completos en los cuales se utiliza el diámetro de perforación de 76mm y 64mm, por consiguiente, se hace la distribución de retardos con detonadores pirotécnicos Fanel® (periodo corto y periodo largo).

Para la secuencia de salida para la voladura de tajo completo, se inició el SLOT con Fanel® periodo corto (intercalado cada 100ms), seguidamente se continua con Fanel LP periodo largo para la zanja y hacia las filas con Fanel MS intercalando cada 50ms la salida de cada taladro con su tiempo de retardo.

Se obtuvo: Factor de Potencia 0.35 Kg/T y Costo de Voladura 0.69($/T). Respecto a la línea Base de 0.42Kg/T y 0.90 $/T. En la cual se obtuvo una diferencia de 16.67% y 23.33% respectivamente. Se registró niveles bajos de vibración en voladura de tajo completo (Registro de vibraciones del TJ 7200 AC 713181 a 50 m VPP 39.84ms) (Registro de vibraciones del Tj 3200 AC 323577B a 30m VPP 26.24ms) Así mismo los tajos con Bz mayor a 70° no presentaron alteración en la caja techo.

Palabras Clave: indicadores, taladros largos, voladura, factor de potencia.

**Abstract**

This work as part of the continuous improvement process in the Inmaculada mining unit with the technical assistance of the company Famesa Explosivos S.A.C. tests were carried out in the unit operation of drilling and blasting of long drills whose main objective is indicators and reducing damage to the roof box when carrying out full pit blasting (Slot, ditch and production rows) to obtain the mineral, so that we have to determine the analysis of damage and influence on the rock mass by Holmberg and Pearson's model.

A design was proposed for the blast exit sequence for complete pits in which the 76 mm and 64 mm drill diameter is used, by default, the distribution of delays is made with Fanel® pyrotechnic detonators (short period and long period).

For the exit sequence for the complete pit blasting, select the SLOT with Fanel® short period (intercalated every 100ms), then continue with Fanel LP long period for the trench and towards the rows with Fanel MS interspersing every 50ms the outlet each drill with its delay time.

We obtained: Power Factor 0.35 Kg / T and Blasting Cost 0.69 ($ / T). Regarding the Base line of 0.42Kg / T and 0.90 $ / T. In which a difference of 16.67% and 23.33% respectively was obtained. Low levels of vibration were recorded in blasting of full pit (Vibration record of the TJ 7200 AC 713181 at 50 m VPP 39.84ms) (Record of vibrations of the Tj 3200 AC 323577B at 30m VPP 26.24ms). 70 ° without any alteration in the roof box.

Keywords: indicators, long holes, blasting, factor of power

# CONTENIDO

Pág.
Dedicatoria ..... 3
Agradecimiento ..... 4
Resumen ..... 5
Abstract ..... 6
I. INTRODUCCIÓN ..... 13
1.1. Trayectoria del Autor ..... 14
1.2. Descripción de la Empresa ..... 15
1.2.1. Ubicación. ..... 15
1.2.2. Misión ..... 15
1.2.3. Visión ..... 16
1.2.4. Historia ..... 16
1.3. Organigrama de la Empresa ..... 19
1.4. Áreas y funciones desempeñadas ..... 21
II. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO ..... 23
2.1 Generalidades de la Unidad Minera Inmaculada ..... 24
2.1.1 Ubicación ..... 24
2.1.2 Accesibilidad ..... 25
2.1.3 Información Geológica ..... 26
2.2 Operaciones Mina ..... 27
2.2.1. Método de Taladros Largos ..... 27
2.3 Geomecánica ..... 28
III. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS ..... 29
3.1 Objetivo General ..... 29
3.2 Objetivo Específico ..... 29
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS ..... 29
4.1.1 Cálculo del módulo de elasticidad del macizo Rocoso ..... 29
4.1.2 Metodología de *Hoek-Diederich* ..... 29
4.1.3 Cálculo de Q de Barton aplicando correlación de RMR ..... 32
4.1.4 Cálculo de Velocidad de Partícula Critica VPPc ..... 33
4.1.5 Modelamiento de Vibraciones Taladros Largos. ..... 34
4.1.6 Análisis en campo Lejano ..... 37
4.1.6.1 Análisis en campo cercano ..... 39
4.2 Áreas Involucradas ..... 43
4.2.1 Propuesta de Diseño de Voladura para Tajos completos en Taladros Largos con Broca de 76mm. ..... 43
4.3 Voladura de Taladros Largos -Tajo Completo (Slot, Zanja y Filas) ..... 46

4.3.1 Primera Voladura ..... 46
4.3.2 Segunda Voladura ..... 50
4.3.3 Tercera Voladura ..... 54
4.4 Voladura de Taladros Largos- Por fases ..... 56
4.4.1 Primera Voladura por fases ..... 56
4.4.2 Segunda Voladura por fases ..... 56
4.4.3 Tercera Voladura por fases ..... 57
4.4.4 Cuarta voladura por fases ..... 57
4.4.5 Quinta Voladura por fases ..... 57
4.5 Análisis de indicadores ..... 57
V. CONCLUSIONES ..... 62
VI. RECOMENDACIONES ..... 63
VII. REFERENCIAS ..... 64
VIII. ANEXO ..... 66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Organigrama Famesa Explosivos S.A.C. ..... 20
Figura 2 Minado de Taladros Largos- Longitudinal (B&F) ..... 27
Figura 3 Minado de Taladros Largos Transversal (SARC) ..... 27
Figura 4 Ecuación de Hoek y Diederich para determinar el (Em) ..... 30
Figura 5 Ecuación de Hoek y Diederich relación de Em y Ei ..... 31
Figura 6 Gráfica de la curva de Ley de Atenuación para Emulnor 3000 2”x24” ..... 36
Figura 7 Grafica de la curva de Ley de atenuación para Emulnor 1000 1 ½”x24” ..... 37
Figura 8 Gráfica de análisis de campo lejano ..... 39
Figura 9 Vista de perfil de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 3000 2”x24” ..... 41
Figura 10 Vista de planta de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 3000 2”x 24” ..... 41
Figura 11 Vista de perfil de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 1000 1 ½ “x24” ..... 42
Figura 12 Vista de planta de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 1000 1 ½ “x24 ..... 42
Figura 13 Diseño de voladura para diámetro de 76mm ..... 44
Figura 14 Diseño de carguío y secuencia con periodo corto y periodo Largo ..... 46
Figura 15 Registro de vibraciones con equipo Instantel ..... 47
Figura 16 Análisis de vibraciones del TJ 7200 AC 713181 ..... 48
Figura 17 Carguío con Emulnor 3000 2”x24” y taco de 1.40m ..... 48
Figura 18 Carga desacoplada utilizando tubo de PVC ..... 49
Figura 19 Resultado de voladura control de caja techo ..... 49
Figura 20 Resultado de fragmentación ..... 50
Figura 21 Amarre de filas proyecto y resultado controlando la caja techo ..... 51
Figura 22 Diseño de carguío y secuencia de voladura NV 4395 ..... 52
Figura 23 Registro y análisis de vibraciones con equipo Instantel ubicado a 30m de la última fila ..... 53
Figura 24 Diseño de secuencia de salida Nv.4375 AC623517 ..... 54
Figura 25 Carguío y amarre de Slot Con Fanel de Periodo Corto ..... 55

Figura 26 Taladros de Alivio no cargados ..... 55
Figura 27 Voladura controlada sin daño a la caja Techo ..... 56
Figura 28 Gráfica comparativa de costo de voladura ($/T) ..... 58
Figura 29 Gráfica Comparativa del Factor de Potencia (Kg/T)..... 58
Figura 30 Gráfica de diferencia del Factor de Potencia ..... 60
Figura 31 Grafica de diferencia de costo de voladura ($/T) ..... 61
Figura 32 Plano de ubicación Unidad Minera Inmaculada ..... 67
Figura 33 Plano Longitudinal Veta Angela..... 68
Figura 34 Diseño de carguío de Slot con diámetro de 76mm ..... 69
Figura 35 Diseño de carguío de zanja con diámetro de 76mm. ..... 70
Figura 36 Diseño de carguío de filas con diámetro de 76mm. ..... 71
Figura 37 Diseño de carga para el control de caja techo. ..... 72
Figura 38 Costo de Explosivos y accesorios ..... 73
Figura 39 Criterio para Estimar el factor de perturbación D ..... 74
Figura 40 Estándar de perforación de Taladros Largos ..... 77
Figura 41 Estándar de Carguío en Tajeos de Taladros Largos..... 80

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Sedes de Famesa Explosivos S.A.C. ..... 15
Tabla 2 Historia de Famesa Explosivos S.A.C. ..... 16
Tabla 3 Coordenadas UTM U.M. Inmaculada..... 24
Tabla 4 Accesos a U.M. Inmaculada ..... 25
Tabla 5 Clasificación RMR tipo de Roca ..... 28
Tabla 6 Cálculo de módulo de Elasticidad Hoek & Diederich ..... 32
Tabla 7 Parámetros para el cálculo de la Velocidad Critica de la roca..... 34
Tabla 8 Criterio de daño según Cameron McKenzie ..... 34
Tabla 9 Registro Tomado en campo y Modelamiento de la ley de atenuación para Emulnor 3000 2”x24”..... 35
Tabla 10 Registro de tomado en campo y Modelamiento de Ley de atenuación para Emulnor 1000 1 ½”x24”..... 36
Tabla 11 Análisis de campo lejano ..... 38
Tabla 12 Análisis de campo cercano según modelo de Holmberg y Persson..... 40
Tabla 13 Análisis del umbral de daño..... 40
Tabla 14 Indicadores de voladura resumen para diámetro de 76mm ..... 45
Tabla 15 Tabla de indicadores (factor de potencia y costo de voladura ) ..... 58
Tabla 16 Cuadro comparativo de factor de potencia (kg/T)..... 59
Tabla 17 Cuadro comparativo de costo de voladura ($/t) ..... 60
Tabla 18 Resumen en el ahorro de la producción ..... 61

## LISTA DE ABREVIATURAS

**T:** Toneladas.

**Kg:** Kilogramos.

**P:** Onda Principal.

**S:** Onda secundaria.

**Vp:** Velocidad de la Onda principal.

**Vs:** Velocidad de la Onda secundaria.

**Em:** Módulo de deformación del macizo rocoso.

**Ei:** Módulo de roca intacta o módulo de Young

**GSI:** Índice de fuerza Geológica**.**

**D:** Factor de perturbación**.**

**VPPc** Velocidad pico partícula crítica.

**De:** Distancia escalar.

**mm/s:** Milímetros por segundo.

**RMR:** Calificación de la masa rocosa.

**Q:** Índice de calidad de la masa rocosa.

**SI:** Resistencia de roca Intacta.

**GPa** Giga Pascales.

**MPa** Mega Pascales.

**K:** Parámetro que depende de la cantidad del explosivo.

**α:** Parámetro que depende de la característica de la roca**.**

# I. INTRODUCCIÓN.

Uno de los aspectos a considerar en el éxito de toda operación minera es la perforación y voladura, es la primera actividad del ciclo de minado en donde se debe reducir el costo de minado y efectuar todos los controles necesarios para mejorar la fragmentación, incrementar la productividad y reducir el daño al macizo rocoso circundante.

Por este motivo toma vital importancia el control de voladura de tajos completos en taladros largos, para lo cual se propuso un plan de trabajo integral para optimizar este proceso. Teniendo en cuenta la competitividad y los costos de explosivos comerciales y en busca de satisfacer las necesidades de los clientes y en comparación de los precios variables en la industria de producción de Oro-Plata.

Las medidas de mejorar los indicadores de voladura controlando el daño al macizo rocoso es una alternativa para optimizar la producción y bajar sus costos. Es por ello que la Compañía Minera Ares (U.M. Inmaculada) con la asistencia Técnica de Famesa Explosivos S.A.C. se buscó obtener mejores resultados y optimizar sus costos en las operaciones unitarias de perforación y Voladura, aplicando tecnologías nuevas de la industria de los explosivos.

## 1.1. Trayectoria del Autor.

Durante la experiencia desde el 2014 -2019 desempeñe en distintas compañías mineras subterráneas dedicadas al proceso de extracción y en empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de Explosivos. Los cuales se detallan a continuación:

2019 marzo – octubre: Ingeniero de Planeamiento de mina en la Empresa Minera los Quenuales- UM Contonga cumpliendo funciones dedicadas al planeamiento de mina al corto y mediano plazo.

2017 junio - 2019 febrero: Asistente Técnico en la empresa Famesa Explosivos S.A.C. cumpliendo funciones de asesoría técnica en la seguridad y manipuleo de explosivos, así mismo la mejora continua de los indicadores de perforación y voladura en la unidad que se me fueron asignadas (U.M. Inmaculada, U.M. Pallancata, U.M. Arcata, UM Catalina Huanca).

2016 diciembre - 2017: Supervisor de Operaciones en la empresa AESA S.A. UM San Rafael donde específicamente realizamos el trabajo de sostenimiento mecanizado con Cable Bolting, y a cargo de un equipo de 6 colaboradores para la ejecución del proyecto, siendo responsable del cumplimiento y seguimiento de herramientas de gestión de seguridad, procedimientos y estándares operacionales.

2014 enero - 2016 mayo: Programa de Becas en la empresa Doe Run Perú SRL- División Cobriza, luego en agosto del mismo año ascendido como Asistente de Perforación y Voladura. Responsable del control de minado y proyectos de planificación de perforación y voladura.

## 1.2. Descripción de la Empresa.

Famesa Explosivos S.A.C. con RUC 20100112214, una empresa peruana fundada en 1953, está dedicada a la fabricación y comercialización de explosivos, accesorio y agentes de voladura. Destinados a cubrir las necesidades de los sectores minería, construcción civil, prospección petrolera y gasífera.

### 1.2.1. Ubicación.

Famesa Explosivos S.A.C. está ubicado como sede central en Lima y cuenta con una red de oficinas de ventas y polvorines, (Puente piedra, Chancay, Salaverry y la joya) estratégicamente ubicados, que le permitan brindar un abastecimiento seguro y oportuno a los usuarios.

**Tabla 1**
*Sedes de Famesa Explosivos S.A.C.*

| FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Sedes | Lima | Trujillo | Arequipa | Huaraz |
| Polvorines | Chancay | Salaverry | Joya | |
| Dirección | Av. Circunvalación del Club de Golf los incas N°206-208 | Av. Evitamiento s/n ZI Salaverry | Av. Bolognesi 118-A Quinta Santa Luisa-Yanahuara | Jr. José de San Martin N°1258-Belén |

Fuente: Famesa Explosivos S.A.C.

### 1.2.2. Misión.

Proveer explosivos, accesorios de voladura y servicios seguros, confiables e innovadores para satisfacer las altas exigencias de nuestros clientes cumpliendo con las normas legales vigentes de modo fiel y exacto.

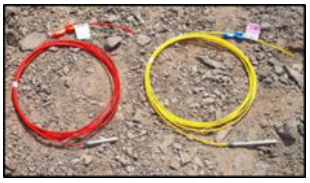
### 1.2.3. Visión.

Liderar el desarrollo de soluciones en el mundo de los explosivos.

### 1.2.4. Historia.

**Tabla 2**
*Historia de Famesa Explosivos S.A.C.*

| Año | Descripción | Foto |
|---|---|---|
| 1953 | FAMESA fue fundada como fábrica de Mechas S.A. e inicia la fabricación del producto mecha de seguridad. |  |
| 1962 | FAMESA crea su propio diseño de maquina trenzadora de seguridad y obtiene una mayor productividad. |  |
| 1964 | Dentro de su proceso de expansión FAMESA adquiere un terreno de 100 ha en el distrito de puente piedra. |  |
| 1968<br>1969 | FAMESA patenta en los EE. UU. su diseño propio de la maquina trenzadora de mecha de seguridad FAMESA traslada sus plantas de producción y oficinas administrativas al distrito de Puente Piedra. |  |
| 1973 | FAMESA inicia su producción de cebo iniciador Booster HDP® para operaciones superficiales y obas civiles. |  |

| | | |
|---|---|---|
| 1975 | FAMESA inicia la fabricación de su línea de accesorios y explosivos para prospección sísmica: fulminantes eléctricos sismográficos y cargas dirigidas. |  |
| 1975<br>1978 | FAMESA complementa su línea de accesorios de voladura con la producción de mecha rápida, conectores y fulminante eléctricos de retardo. |  |
| 1978 | FAMESA desarrolla el fulminante antiestático no eléctrico de micro retardo para minería subterránea y obras civiles, lanzando al mercado su producto FANEL ®. |  |
| 1978-<br>1980 | Cumpliendo con su programa de crecimiento. FAMESA adquiere terreno de 1200 ha en el distrito de Chancay para la fabricación de su línea de altos Explosivos. |  |
| 1990 | FAMESA inicia la producción de ANFO preparado SUPERFAM® para operaciones mineras y obras civiles. |  |
| 1992-<br>1996 | FAMESA desarrolla e inicia su producción de emulsiones encartuchadas lanzando el producto Emulnor® y la preparación de emulsiones a granel. |  |

| | | |
|---|---|---|
| 1997 | FAMESA realiza la primera importación de Nitrato de Amonio de Sudáfrica, mediante un acuerdo de representación exclusiva para el Perú con SMX® - Sasol Mining Explosives. |  |
| 1998-1999 | FAMESA inaugura su planta de producción de Emulsión Matriz en Salaverry (Trujillo). Para Abastecer a las minas de tajo abierto de la zona norte. |  |
| 2003 | FAMESA obtiene la certificación ISO 9001:2000 para sus procesos de producción y comercialización en todas sus sedes incluyendo el servicio de voladura. | CERTIFICADO ISO 9001 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD |
| 2004-2007 | FAMESA desarrolla y ensambla su primer camión fábrica para la preparación de ANFO y HANFO en operaciones de tajo abierto. Simultáneamente empieza a brindar el servicio integral de voladura para operaciones superficiales. |   |
| 2008 | Dentro de su permanente proceso de innovación, FAMESA desarrolla su emulsión gasificable SAN-G® para operaciones de tajo abierto. |  |
| 2009 2010 | FAMESA obtiene la certificación BASC para sus procesos de la cadena logística en las sedes de puente piedra y chancay. FAMESA inaugura su planta de emulsión. | BASC CERTIFICADO BASC |

| | | |
|---|---|---|
| | matriz, ANFO y emulsiones encartuchadas en la Joya (Arequipa). | |
| 2012 | FAMESA buscando una ubicación estratégica para suministrar explosivos a las diferentes operaciones mineras, traslada su planta de Iquique a la Serena (Chile). |  |
| 2014 | FAMESA añade a su oferta exportable el mercado africano con los países de Zimbabue, Zambia, república de Congo y Tanzania, obteniendo éxito en su operaciones y buen desempeño de sus productos. |  |
| 2015 | FAMESA expande su capacidad productiva de Emulsión a granel en su planta de Chancay, para abastecer a los clientes de minería superficial y subterránea. |  |

Fuente: famesa.com.pe/quienes-somos/.

### 1.3. Organigrama de la Empresa.

En la Empresa FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. existen diversos departamentos encargados desde la fabricación de los productos hasta la comercialización y servicios de voladura para ello en el presente trabajo se muestra el área encargada de la asistencia técnica que a continuación se muestra:

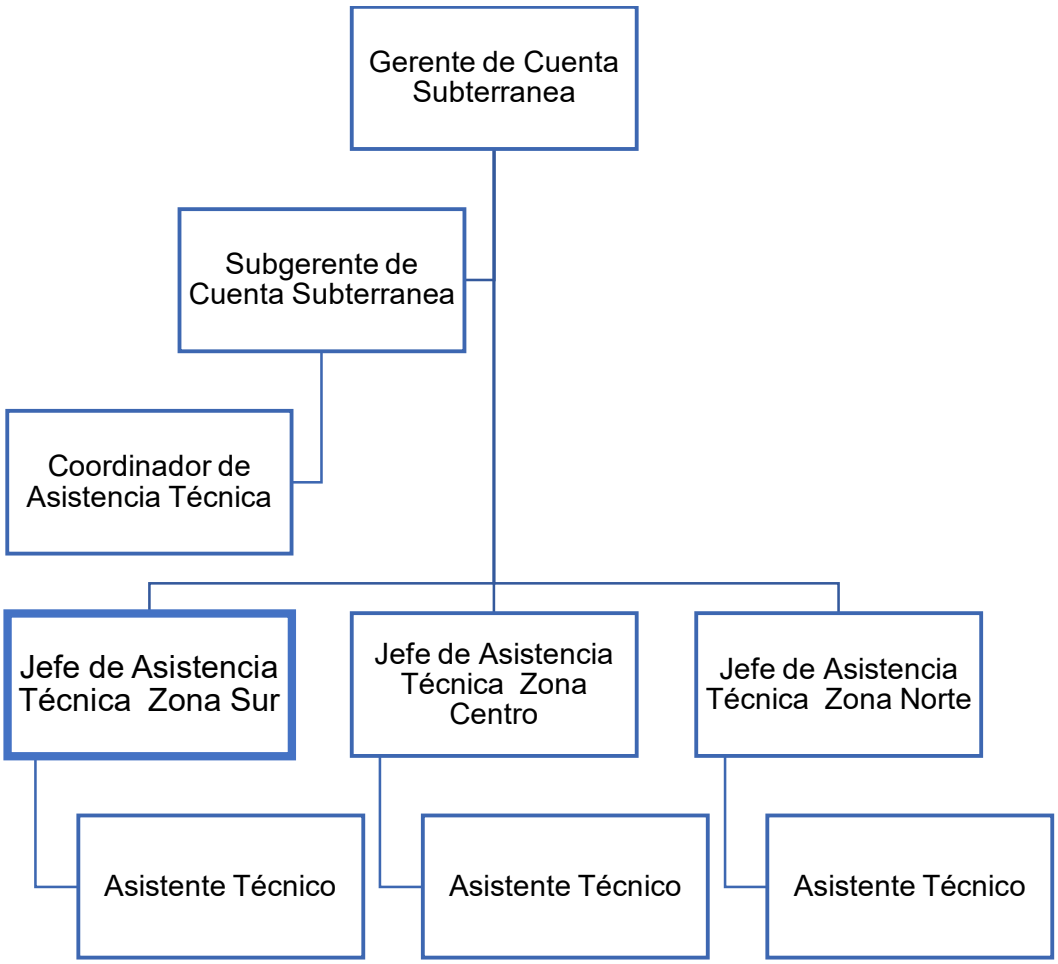



***Figura 1*** *Organigrama de la Empresa Famesa Explosivos S.A.C.*
Fuente: Elaboración propia.

## 1.4. Áreas y funciones desempeñadas.

2019 marzo – octubre: Ingeniero de Planeamiento de mina en la Empresa Minera los Quenuales- UM Contonga cumpliendo funciones dedicadas al planeamiento de mina al corto y mediano plazo.

- ✓ Diseño y optimización de Mallas de perforación y voladura de Slot y Taladros largos en bancos de 12-18m. utilizando Software AEGIS.
- ✓ Trabajo en la implementación de estrategias operacionales en el control de minado por taladros largos. Conciliación de producción, control de dilución, medición de desviación de taladros utilizando equipo DEVISHOT y OPTECH.
- ✓ Trabajo en la implementación del software minero Deswik para el diseño de mina y programación (Deswik.Cad y Deswik.IS), diseño de mallas de perforación y voladura (Deswik.UGDB) y evaluación del modelo de bloques (Deswik.UGDB).
- ✓ Elaboración del Budget y Forecast. Control del cumplimiento y adherencia del plan de producción y avances.
- ✓ Elaboración directamente con el corporativo de Servicios Técnicos de Glencore Zinc en la elaboración del plan minero LOM de la mina Contonga.

2017 junio - 2019 febrero: Asistente Técnico en la empresa Famesa Explosivos S.A.C., cumpliendo funciones de asesoría técnica en la seguridad y manipuleo de explosivos, así mismo la mejora continua de los indicadores de perforación y voladura en la unidad que se me fueron asignadas (U.M. Inmaculada, U.M. Pallancata, U.M. Arcata, U.M. Catalina Huanca).

- ✓ Optimización de diseño de mallas de perforación y voladura en taladros largos, frentes, breasting, y realce. (en subterránea y Superficial).
- ✓ Control de minado y diseño de explotación del método SLS, monitoreo de vibraciones, cálculo de dilución, medición de

desviación de taladros, evaluación de resultados de fragmentación y recomendaciones de mejora en diseño de mallas de perforación y voladura. (Método B&F y SARC).

- ✓ Operación de equipo Optech y equipo de medición de desviación de taladros PEEWEE, para el control de minado en tajos de taladros largos.
- ✓ Procesamiento de data para el control de minado en los softwares Deswik y Datamine.
- ✓ Control y seguimiento de performance de indicadores de perforación y voladura.
- ✓ Alternativas para el control de dilución en minado de Taladros Largos.

2016 diciembre - 2017: Supervisor de Operaciones en la empresa AESA SA UM San Rafael donde específicamente realizamos el trabajo de sostenimiento mecanizado con Cable Bolting, y a cargo de un equipo de 6 colaboradores para la ejecución del proyecto, siendo responsable del cumplimiento y seguimiento de herramientas de gestión de seguridad, procedimientos y estándares operacionales.

- ✓ Responsable del cumplimiento y seguimiento de herramientas de gestión de seguridad, procedimientos y estándares operacionales.
- ✓ Supervisar el cumplimiento de perforación de taladros largos para sostenimiento (cable Bolting).
- ✓ Control y seguimiento de performance de perforación, control de aceros taladros largos.
- ✓ Supervisar el cumplimiento de instalación e inyección de Cable Bolting (longitud de 8 - 25m).

2014 enero - 2016 mayo: Programa de Becas en la empresa Doe Run Perú SRL- División Cobriza, luego en agosto del mismo año ascendido como Asistente de Perforación y Voladura. Responsable del control de minado y proyectos de planificación de perforación y voladura.

- ✓ Diseño de perforación y voladura de Taladros Largos de producción y Chimeneas VCR.
- ✓ Diseño de proyectos para la secuencia de minado de los métodos de explotación corte y relleno ascendente y sub level stoping.
- ✓ Responsable de la seguridad y seguimiento del cumplimiento de herramientas de gestión, del grupo de trabajo.
- ✓ Seguimiento del control de minado, medición de desviación de taladros, cálculo de rotura y sobre rotura, replanteo de taladros desviados. Reportes de control de minado.
- ✓ Control de índices de Perforación y Voladura y seguimiento al plan de producción TL y C&R.

## II. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO.

El desarrollo de este trabajo expone la situación de la Compañía Minera Ares conjuntamente con la asistencia técnica de Famesa Explosivos S.A.C. en la U.M. Inmaculada ubicada en el departamento de Ayacucho y pertenece al grupo Hochschild Mining, que se dedica a la explotación de plata y oro, donde se utiliza el método de explotación de taladros largos (TL) y en ciertas partes el corte relleno mecanizado (CRM).

Uno de los antecedentes como problemas con la que tenía que lidiar la compañía, está relacionada a los procesos de voladura, en temas de sus indicadores no fueron adecuados, minimizar el daño al macizó rocoso, por lo cual, el proceso de voladura de rocas debería tener una buena planificación y llegar a un estándar por cada zona de la mina a fin de mejorar dicho proceso.

Por consiguiente, en la U.M. Inmaculada cuyo método predominante de explotación es de taladros Largos, se encuentra que los niveles de daño al macizo rocoso no son los adecuados para el método que se realiza.

La importancia de realizar un análisis al monitoreo de vibraciones es para determinar el radio de influencia de la detonación, (Dueñas, 2018) en voladura de tajos completos de taladros largos para distinto diámetro de perforación (64mm y 76mm), mediante el uso de características

dinámicas de las rocas determinadas en forma correlacional (Hoek y Dieredichs) a fin que al momento de realizar el cálculo de voladura se pueda usar parámetros más reales que se acerca al resultado obtenido después de la voladura.

Durante la visita técnica de Famesa Explosivos S.A.C. a la U.M. Inmaculada se implementó una metodología para el control de las voladuras de tajo completo desde el diseño de mallas, análisis geomecánico y control de parámetros de indicadores de voladura, que conlleva a generar planes de acción con responsables, etapas de cumplimiento y revisión.

## 2.1 Generalidades de la Unidad Minera Inmaculada.

### 2.1.1 Ubicación.

La Propiedad de la U.M. Inmaculada se localiza al Sur del Perú dentro de la Provincia de Parinacochas y Páucar de Sara Sara en el Departamento de Ayacucho, situado aproximadamente en la Latitud 14°57'27"S y Longitud 73°14'42"W. Plano de Ubicación Anexo 1.

La propiedad está situada entre los 3,900 y 4,800 msnm en el cinturón de Puquio-Caylloma y se localiza aproximadamente a 210 km Sur-Oeste del Cuzco y a unos 530 km Sud-Este de Lima, la capital del Perú. La propiedad se localiza dentro de las coordenadas UTM que se muestran en la Tabla 4.a continuación. *(Ausenco, 2012)*.

**Tabla 3**
*Coordenadas UTM U M. Inmaculada.*

| COTA | COORDENADAS ESTE | COORDENADAS NORTE |
|---|---|---|
| 3900-4800 msnm | 670000 | 8358000 |
| | 702000 | 8358000 |
| | 677000 | 8341000 |
| | 702000 | 8341000 |

Fuente: Mina U.M. Inmaculada.

### 2.1.2 Accesibilidad.

El tiempo total de viaje desde Lima a la propiedad de U.M. Inmaculada es aproximadamente 16 horas. Para acceder a la propiedad se puede llegar desde Lima por la Panamericana Sur hasta Nazca, seguidamente puquio hasta llegar a Iscahuaca (que actualmente el ingreso es por Quilccacasa.) Accesos alternativos pueden hacerse desde Cuzco viajando hacia el Oeste en la carretera Cuzco-Nazca y desviándose en el cruce de Chalhuanca a Iscahuaca, siguiendo a continuación el itinerario anterior.

La otra alternativa es desde la ciudad de Arequipa, tomando la autopista que pasa por Majes-Chuquibamba luego en una ruta de la comunidad hasta Cotahuasi y de ahí por un camino de trocha carrozable hasta la U.M. Inmaculada. (Ausenco, 2012).

**Tabla 4**
*Accesos a U.M. Inmaculada.*

| ORIGEN | DESTINO | TIPO DE VÍA | TIEMPO (h) | DISTANCIA (km) |
|---|---|---|---|---|
| **ACCESO A INMACULADA DESDE LIMA - RUTA 1 (TERRESTRE)** | | | | |
| Lima | Nazca | Asfaltada | 6.0 | 460.0 |
| Nazca | Puquio | Asfaltada | 4.0 | 155.0 |
| Puquio | Iscahuaca | Asfaltada | 3.0 | 142.0 |
| Iscahuaca | Inmaculada | Trocha carrozable | 4.45 | 141.1 |
| **ACCESO A INMACULADA DESDE LIMA -RUTA 2 (AÉREA Y TERRESTRE)** | | | | |
| Lima | Cuzco | Vía Aérea | 1.5 | 590.0 |
| Cuzco | Abancay | Asfaltada | 4.0 | 195.5 |
| Abancay | Chalhuanca | Asfaltada | 3.0 | 120.0 |
| Chalhuanca | Iscahuaca | Asfaltada | 0.5 | 43.0 |
| Iscahuaca | Inmaculada | Trocha carrozable | 4.45 | 141.1 |
| **ACCESO A INMACULADA DESDE LIMA - RUTA 3 (TERRESTRE)** | | | | |
| Arequipa | Aplao | Asfaltada | 3.0 | 180.0 |
| Aplao | Chuquibamba | Asfaltada | 0.75 | 51.0 |
| Chuquibamba | Cotahuasi | Vía afirmada | 4.0 | 130.0 |
| Cotahuasi | Inmaculada | Vía afirmada | 4.5 | 110.0 |

Fuente: Elaboración Propia.

### 2.1.3 Información Geológica.

Está conformada por stockworks de vetas de cuarzo blanco, con brechas hidrotermales venillas de cuarzo silicificados y cementada por calcedonia y menor porcentaje de cuarzo blanco hacia ambos lados de la caja. La veta Ángela es un depósito de oro/plata, ubicada en el Cinturón de Puquio-Caylloma, que tiene formación Tacaza asociada rocas volcánicas y que alberga una serie de importantes depósitos epitermales con mineralización Ag-Au distribuido en vetas, mantos y brechas diseminadas. (Ausenco, 2012).

Esta veta tiene una longitud aproximada de 2 km, y profundidades que varían de 200 a 400 m. El trabajo de minado se ha planteado en tres niveles: 4 500, 4 400 y 4 300 msnm. (ANEXO 2).

Mineralización de la veta Angela, se alojan en volcánicos de la era Terciaria y están asociadas con varios episodios de mineralización. Las potencias promedio de la veta están dentro del rango de 0.8-4.0 m de ancho y la mayoría de sistemas de la veta tienden a ser ricos en plata, aunque sí ocurren variaciones locales con zonas de ratios menores de Ag: Au.

La veta Ángela está compuesta de una ganga de calcedonia blanca, cuarzo, calcita (en pequeñas cantidades), esmectita y illita. Las texturas de cuarzo pseudomorfo después de calcita y el bandeamiento coloforme, ambos indicativos de ebullición, son bastante comunes en la veta. Los minerales metálicos, que raras veces constituyen más del 1% de la veta, ocurren como diseminaciones y bandeamiento coloforme y están compuestos por pirita, marcasita, argentita, pirargirita, calcopirita, esfalerita y electrum.

El segundo evento de mineralización en la veta Ángela es el más importante desde el punto de vista económico y está compuesto por una veta de calcedonia blanca con brecha y stockworks asociados. La calcedonia contiene pequeñas cantidades (por lo general < 1 %) de electrum, argentita, pirargirita, calcopirita, pirita y marcasita. (Ausenco, 2012).

## 2.2 Operaciones Mina.

### 2.2.1. Método de Taladros Largos.

Para este método las zonas seleccionadas deben tener un RMR en sus cajas entre IVA y IIIB, buzamientos mayores a 55 grados. El método TL se subdivide de acuerdo a la potencia de las vetas en taladros largos transversales para el minado de vetas con potencias mayores a 10 m con longitud de minado de aprox. 10 m para no afectar la estabilidad y en taladros largos longitudinales para el minado de vetas con potencias de 2 a 10 m (Merma, 2018).

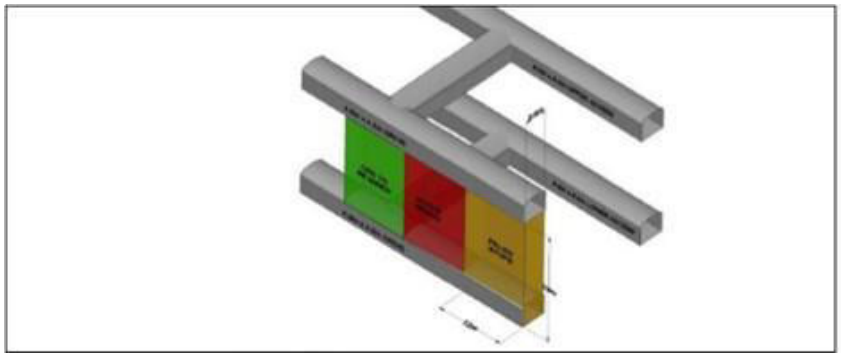


***Figura 2*** *Minado de Taladros Largos- Longitudinal (B&F).*
Fuente: Planeamiento U.M. Inmaculada.

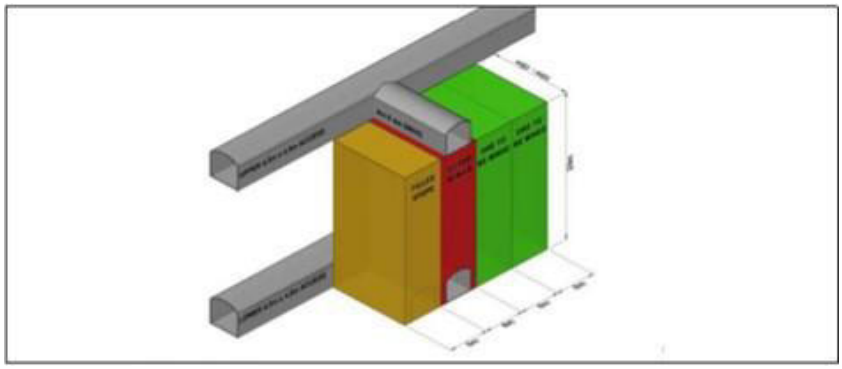


***Figura 3*** *Minado de Taladros Largos Transversal (SARC).*
Fuente: Planeamiento U.M. Inmaculada.

## 2.3 Geomecánica.

Por lo general la andesita es la roca predominante en las cajas, en ocasiones hay la presencia de drevis flow, en ambos casos el RMR varía de 21 a 50; mientras hay presencia de sílice en la estructura, óxidos y el 95% de cuarzo con presencia de agua y fracturas ligeramente rugosas con RMR que varía de 25 a 50. (Chura, 2018).

**Tabla 5**
*Clasificación RMR tipo de Roca.*

| TIPO DE ROCA SEGÚN LA CLASIFICACIÓN RMR | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DESCRIPCIÓN** | **UNID** | **RANGO** | **IVA** | **IVB** | **IIIB** | **IIIA** |
| 1. Resistencia a la compresión simple | MPa | 50-100 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| 2. RQD | % | 50-75 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 3. Esp. Entre discontinuidades | m | <0.06-2.0 | 5 | 8 | 8 | 15 |
| 4. Estado de las discontinuidades | - | - | 7 | 10 | 10 | 14 |
| Persistencia | m | 3.0-20.0 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Apertura | mm | 0.1a >5.0 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| Rugosidad | - | Ligero | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Relleno | - | duro c/esp>5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Meteorización | - | mod-alto | 1 | 3 | 3 | 3 |
| 5. Presencia de agua | - | Lig-Húmedo | 7 | 7 | 7 | 10 |
| 6.RMR Básico | - | - | 39 | 45 | 45 | 59 |
| 7. Orientación de discontinuidades | - | favorable | -2 | -2 | -2 | -2 |
| **8. RMR Corregido** | **-** | **-** | **37** | **43** | **43** | **57** |
| **RMR PROMEDIO** | | | | **45** | | |

Fuente: Área de Geomecánica - UM Inmaculada.

Se considera RMR 45 para los monitoreo, pruebas y análisis por ser el promedio de entre todos los tajos de explotación en taladros largos.

Existen factores En las excavaciones subterráneas de Inmaculada, que influyen en la estabilidad de la masa rocosa, tales como:

- ✓ La Voladura.
- ✓ Presencia de agua subterránea.
- ✓ Estructura de la masa rocosa.
- ✓ Secuencia de avance de minado.
- ✓ Tamaño y orientación de las excavaciones.
- ✓ Esfuerzos que actúan en las cajas.

# III. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.

## 3.1 Objetivo General.

Evaluar la voladura de tajos completos de taladros largos que contribuya a optimizar los indicadores de Factor de Potencia y Costo de Voladura.

## 3.2 Objetivo Específico.

Determinar el radio de influencia del taladro para controlar el proceso y minimizar los daños a la caja techo.

# IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1.1 Cálculo del módulo de elasticidad del macizo Rocoso.

El módulo de elasticidad de la masa rocosa en un factor muy indispensable en cálculos y análisis numéricos y en la interpretación de monitoreo de deformaciones en las excavaciones subterráneas, así como para la determinación de deformaciones inducidas por voladuras.

Una vez medido de las velocidades de propagación de las ondas de las ondas S, Vs, P, Vp, y de la densidad de la respectiva masa rocosa se calculan las constantes elásticas. (Galera JM, Alvarez M, & Bleniaswki, 2015).

Determinar este parámetro In Situ es difícil y caro, por esta razón se ha prestado mucha atención a su determinación a partir de las avaluaciones Geomecanicas actualmente en boga.

### 4.1.2 Metodología de *Hoek-Diederich.*

Las metodología de *Hoek - Diederich* se basan en el valor del Índice de fuerza geológica (GSI) y el factor de perturbación (D) Anexo 7 (P.Van & B.Vasárhelyi, 2010), empleando las siguiente fórmulas:

$$Em(MPa) = 100{,}000\frac{1 - \mathrm{D}/2}{1 + \mathrm{e}^{(75+25\mathrm{D}-\mathrm{GSI})/11}}$$

$$Em(MPa) = 100{,}000\frac{1 - 0.8/2}{1 + \mathrm{e}^{(75+(25*0.8)-40)/11}}$$

$$Em = 401.6(MPa)$$

Las siguientes figuras muestran de manera gráfica la estimación del módulo de deformación del macizo rocoso (Em)

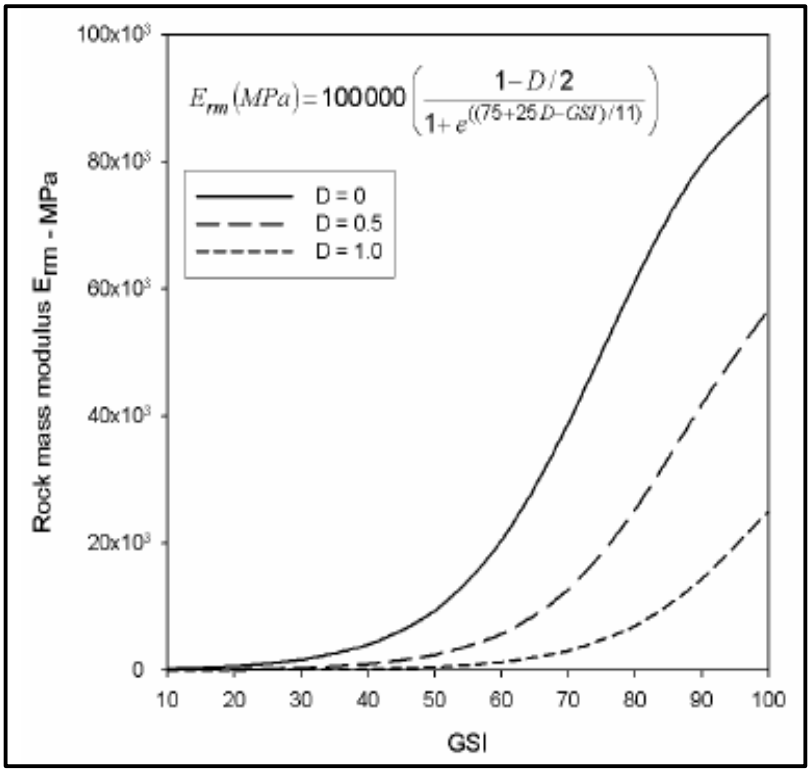



***Figura 4*** *Ecuación de Hoek y Diederich para determinar el (Em).*
Fuente: Hoek y Diederich,2006.

La figura siguiente es usada para realizar las estimaciones del módulo de deformación de masa de roca basado en GSI, D en relación al módulo de deformación de la roca intacta módulo Ei.

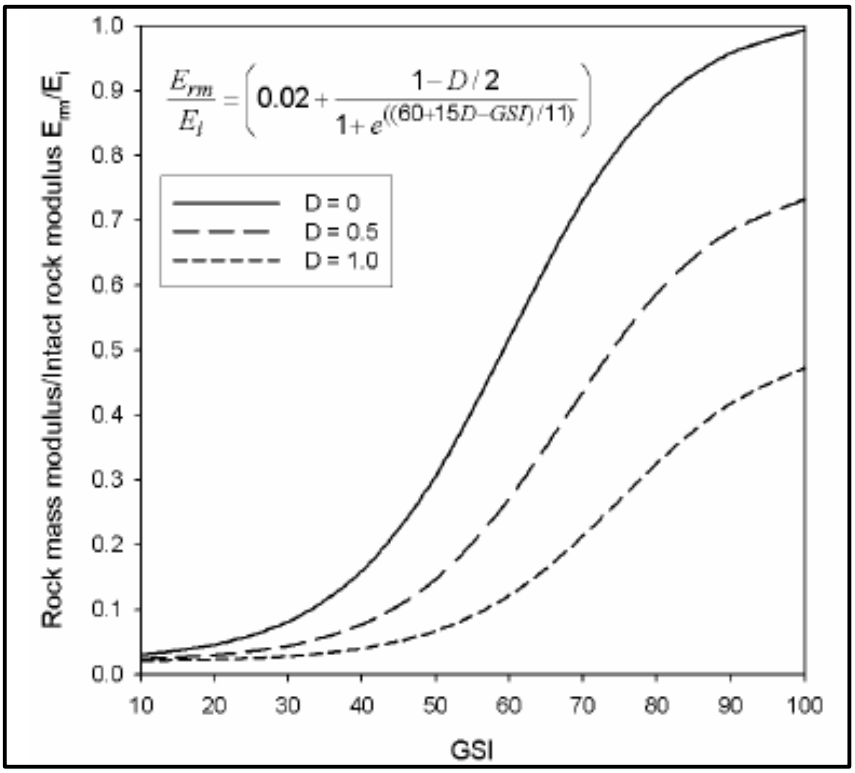



***Figura 5*** *Ecuación de Hoek y Diederich relación de Em y Ei.*
Fuente: Hoek y Diederich,2006.

$$\frac{Em(MPa)}{Ei} = 0.02 + \frac{1 - \mathrm{D}/2}{1 + \mathrm{e}^{(60+15\mathrm{D}-\mathrm{GSI})/11}}$$

$$\frac{Em(MPa)}{Ei} = 0.02 + \frac{1 - 0.8/2}{1 + \mathrm{e}^{(60+15(0.8)-40)/11}}$$

$$\frac{Em}{Ei} = 0.05$$

Una vez calculado el módulo de deformación de la masa rocosa (Em) y la relación de ($Em/E$i) se procedió a hallar el módulo roca intacta (Ei), el cual es utilizado para determinar la velocidad critica de la roca VPPc.

$$Ei = (\frac{Em}{\frac{Em}{Ei}})/1000$$

$$Ei = (\frac{401.6}{0.05})/1000$$

$$Ei = 7.87 \text{ GPa}$$

**Tabla 6**
*Cálculo de módulo de Elasticidad Hoek & Diederich.*

| Parámetro | Nomenclatura | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Clasificación geomecánica de Bieniawski (Tabla 5) | $RMR_{89}$ | 45 | |
| Índice de resistencia geológica | GSI | 40 | |
| Factor de Perturbación D | D | 0.8 | |
| Resistencia de Roca Intacta | Si | 80 | MPa |
| Modulo del Macizo | Em | 401.6 | MPa |
| Relación del módulo | Em/Ei | 0.05 | |
| **Módulo de roca intacta** | **Ei** | **7.87** | **GPa** |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3 Cálculo de Q de Barton aplicando correlación de RMR.

En las últimas décadas, existen publicaciones de correlaciones empíricas por muchos autores, que relacionan el Índice de calidad Q de Barton.y el Índice de calidad RMR de Bieniawski 1973.

Por consiguiente, dentro de los diferentes criterios de clasificación geomecánica existen relaciones matemáticas para la correlación. El cuál es el caso de Q (índice de calidad de la masa rocosa) de Barton (1974) al RMR Bieniawski (1989) está correlacionado por la expresión siguiente: (Chura, 2018).

$$RMR = 9LnQ + 44$$

Despejando Q: con el valor de RMR de 45

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

$$Q = e^{(\frac{45-44}{9})}$$

$$Q = 1.12$$

Obtenido este valor Q se procede realizar el cálculo de la velocidad de propagación de la onda P, con la siguiente fórmula:

$$VP = 3500 + 1000Log(Q)$$

$$VP = 3500 + 1000Log(1.12)$$

$$VP = 3549.22$$

### 4.1.4 Cálculo de Velocidad de Partícula Critica VPPc.

Con la aplicación de la Ley de Hooke y Forsyth se puede calcular la velocidad de partícula crítica sobre la base de las propiedades de la roca del punto de interés. (Seguel R & Bracchitta D, 2010).

$$VPPcritico = \sigma t * Vp\ /Ei$$

**Tabla 7**
*Parámetros para el cálculo de la Velocidad Critica de la roca.*

| Parámetro | Nomenclatura | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Clasificación geomecánica de Bieniawski (Tabla 5) | $RMR_{89}$ | 45 | |
| Índice de calidad tunelera | Q | 1.12 | |
| Velocidad de propagación de onda P | Vp | 3549.21 | m/s |
| Resistencia de Roca Intacta | Si | 80 | MPa |
| Resistencia a la tracción | $\sigma t$ | 6.11 | MPa |
| Módulo de roca intacta | Ei | 7.87 | GPa |
| **Velocidad de Partícula critico** | **VPPc** | **2755** | **mm/s** |

Fuente: Elaboración propia.

Según Cameron Mckenzie para los distintos niveles se registra el Umbral del Valor Máximo de la velocidad de partícula.

**Tabla 8**
*Criterio de daño según Cameron McKenzie.*

| Tipo de Daño | Criterio de Daño | Velocidad Critica |
|---|---|---|
| Intenso fracturamiento | >4*VPPc | 11022 |
| Creación de Nuevas fracturas | >1*VPPc | 2755 |
| Leve propagación de Ondas pre-existentes. | >1/4 *VPPc | 689 |

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.5 Modelamiento de Vibraciones Taladros Largos.

Con la data levantada en campo se procede a trazar la línea de distribución para calcular la relación entre la velocidad pico partícula y la distancia escalar (De) generado de registros sobre la gráfica, de la cual se obtiene la ley de atenuación basada en el modelo de Devine (1962)

Los datos registrados que se muestran en la tabla 9 y 10 se obtuvieron mediante el monitoreo de vibraciones en los proyectos de voladura, donde se usó para realizar el grafico de la curva de atenuación y

se halló la constante k y $\alpha$, los cuales se aprecian en las ecuaciones de en la figura 7 y 8.

Fórmula para le modelamiento de la distancia escalar:

$$De = \frac{D}{w^{1/2}}$$

De: distancia escalar

D: Distancia de monitoreo

W: cantidad de explosivo

**Tabla 9**

*Registro Tomado en campo y Modelamiento de la ley de atenuación para Emulnor 3000 2"x24".*

| Datos de monitoreo | | Explosivos: E 3000 2"X24" TIPO DE ROCA IV A | | | Eje (x) | Eje (y) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Disparo (Fecha) | Equipo | V (mm/s) Vel. Pico Particula | D (m) Distancia Monitoreo | W (Kg) (Peso max/retardo) | De = D/W^(1/2) Distancia escalar | VPP (mm/s) Vel. Pico Particula |
| 2019 | FAMESA | 54.57 | 12.00 | 30.56 | 2.17 | 54.57 |
| 2019 | FAMESA | 45.27 | 13.25 | 30.56 | 2.40 | 45.27 |
| 2019 | FAMESA | 32.32 | 14.50 | 30.56 | 2.62 | 32.32 |
| 2019 | FAMESA | 10.61 | 20.00 | 19.44 | 4.54 | 10.61 |
| 2019 | FAMESA | 11.12 | 21.25 | 19.44 | 4.82 | 11.12 |
| 2019 | FAMESA | 17.54 | 22.50 | 22.22 | 4.77 | 17.54 |

Fuente: Elaboración propia.

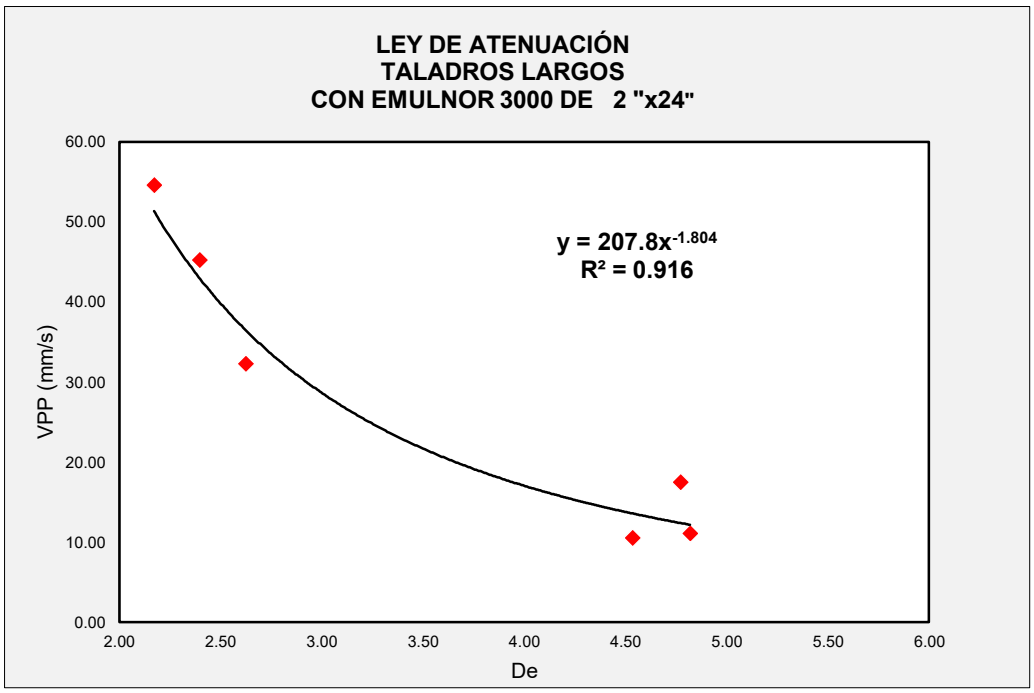



***Figura 6*** *Gráfica de la curva de Ley de Atenuación para Emulnor 3000 2"x24".*
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10**
*Registro de tomado en campo y Modelamiento de Ley de atenuación para Emulnor 1000 1 ½"x24".*

| Datos de monitoreo | | Explosivos: E 1000 1 1/2"X24" TIPO DE ROCA IV A | | | Eje (x) | Eje (y) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Disparo (Fecha) | Equipo | V (mm/s) Vel. Pico Particula | D (m) Distancia Monitoreo | W (Kg) (Peso max/retardo) | De = D/W^(1/2) Distancia escalar | VPP (mm/s) Vel. Pico Particula |
| 2019 | FAMESA | 31.99 | 12.00 | 23.61 | 2.47 | 31.99 |
| 2019 | FAMESA | 19.69 | 14.30 | 23.61 | 2.94 | 19.69 |
| 2019 | FAMESA | 13.46 | 16.30 | 23.61 | 3.35 | 13.46 |
| 2019 | FAMESA | 10.33 | 18.30 | 23.61 | 3.77 | 10.33 |
| 2019 | FAMESA | 15.48 | 20.30 | 23.61 | 4.18 | 15.48 |
| 2019 | FAMESA | 8.51 | 22.30 | 23.61 | 4.59 | 8.51 |

Fuente: Elaboración propia.

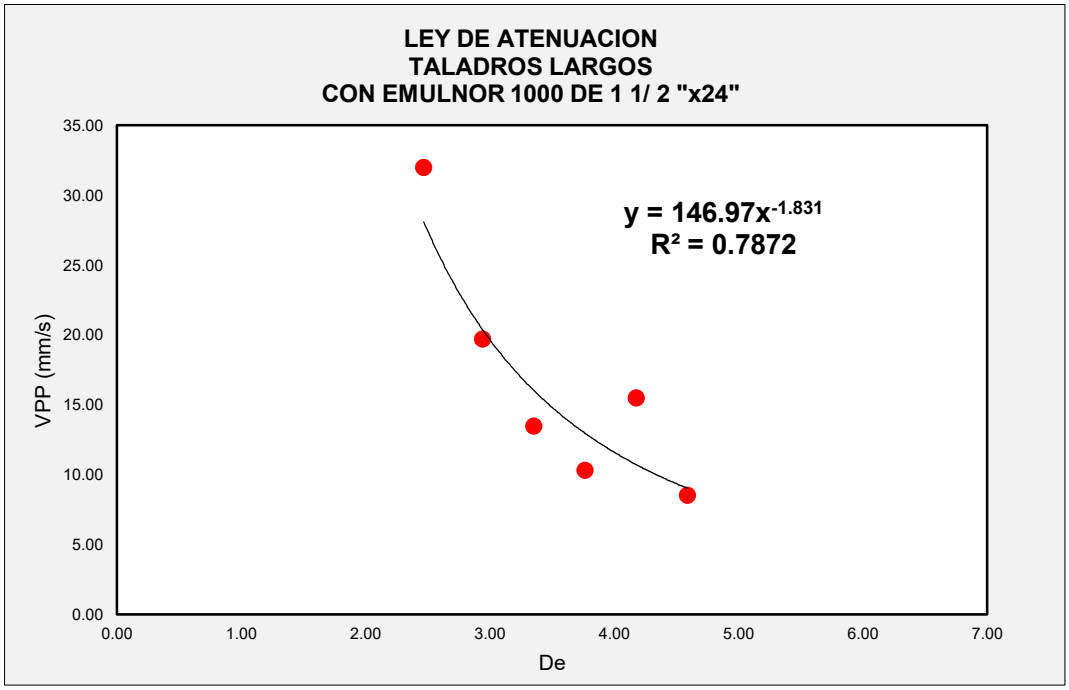



**Figura 7** *Grafica de la curva de Ley de atenuación para Emulnor 1000 1 ½"x24".*
Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.6 Análisis en campo Lejano.

Una vez obtenido lo valores de k y $\alpha$ de la curva de ley de atenuación se realiza el primer modelo de vibraciones en campo lejano el cual se considera aplicar a distancias mayores a cinco veces de longitud del taladro y nos permite predecir el nivel de vibraciones a partir de mediciones en campo, como se muestra en la tabla 11 y figura 8.

De estas mediciones se deben obtener principalmente tres antecedentes, a saber:

- ✓ El nivel de vibraciones que genera una carga de explosiva al detonar.
- ✓ La cantidad de explosivo que genera el nivel de vibraciones medido.
- ✓ La distancia de la carga al punto de monitoreo a la cual se mide el nivel de vibraciones.

**Tabla 11**
*Análisis de campo lejano.*

| Explosivo | Emulnor 3000 | Emulnor 1000 | $Vpp = K \times \left(\frac{d}{\sqrt{w}}\right)^{-\alpha}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dimensión | 2" X 24" | 1.1/2" X 24" | | | |
| Columa de Carga | Continua | Continua | | | |
| K | 207.80 | 146.97 | | | |
| Alfa | -1.804 | -1.83 | | | |
| W (Kg) | 30.56 | 23.61 | Umbral de daño | | |
| Radio de Influencia(m) | VPP (mm/s) | VPP (mm/s) | MINIMO | PROMEDIO | MAXIMO |
| 0.10 | 289237 | 179313 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.20 | 82832 | 50434 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.30 | 39859 | 24015 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.40 | 23721 | 14185 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.50 | 15860 | 9430 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.60 | 11415 | 6755 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.70 | 8644 | 5094 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.80 | 6793 | 3990 | 689 | 2755 | 11022 |
| 0.90 | 5493 | 3216 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.00 | 4542 | 2652 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.10 | 3825 | 2228 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.20 | 3269 | 1900 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.30 | 2829 | 1641 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.40 | 2475 | 1433 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.50 | 2186 | 1263 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.60 | 1945 | 1122 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.70 | 1744 | 1004 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.80 | 1573 | 905 | 689 | 2755 | 11022 |
| 1.90 | 1427 | 819 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.00 | 1301 | 746 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.10 | 1191 | 682 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.20 | 1095 | 627 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.30 | 1011 | 578 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.40 | 936 | 534 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.50 | 870 | 496 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.60 | 810 | 462 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.70 | 757 | 431 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.80 | 709 | 403 | 689 | 2755 | 11022 |
| 2.90 | 665 | 378 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.00 | 626 | 355 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.10 | 590 | 335 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.20 | 557 | 316 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.30 | 527 | 298 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.40 | 499 | 282 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.50 | 474 | 268 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.60 | 450 | 254 | 689 | 2755 | 11022 |
| 3.70 | 429 | 242 | 689 | 2755 | 11022 |

Fuente: Elaboración propia.

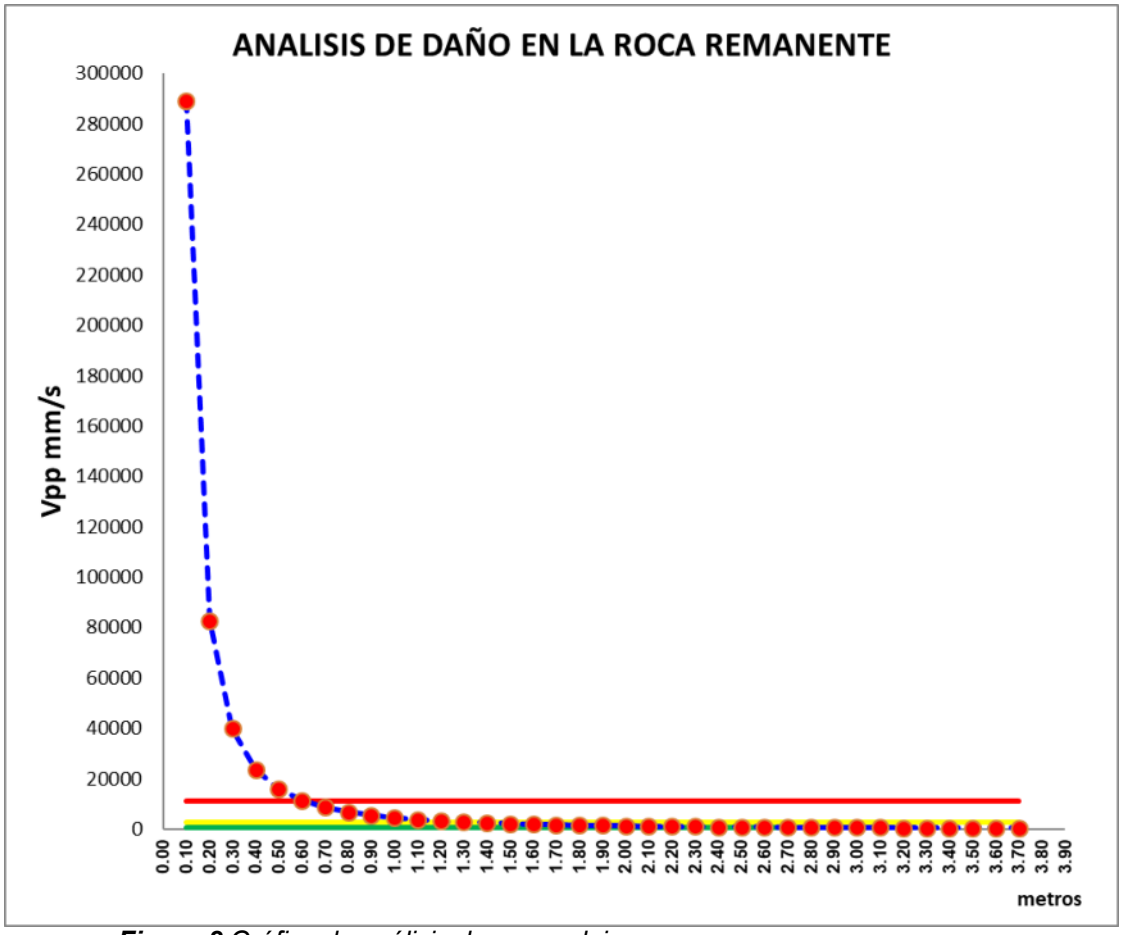



***Figura 8*** *Gráfica de análisis de campo lejano.*
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6.1 Análisis en campo cercano.

El análisis del modelo de campo cercano, se considera directamente alrededor de estructuras las cuales afectan las vibraciones producidas por la detonación de un taladro, principalmente para medir el nivel de vibraciones que afecta la estabilidad del tajeo y para clasificar el daño a la masa rocosa se usará la tabla 13 donde se ve el umbral de daño en la roca.

**Tabla 12**
*Análisis de Campo Cercano según modelo de Holmberg y Persson.*

| Explosivo | Emulnor 3000 | Emulnor 1000 | |
|---|---|---|---|
| Dimension Cartucho | 2" x24" | 1 1/2"x24" | |
| Diámetro del taladro | 76.00 | 64.00 | mm |
| k | 207.80 | 146.97 | |
| Alfa | -1.80 | -1.83 | |
| Long. Taco | 1.00 | 1.00 | m |
| Long. Carg. | 14.00 | 17.00 | m |
| Long. Taladro | 15.00 | 18.00 | m |
| Densidad carga | 1.16 | 1.13 | g/cm$^3$ |
| Peso de explosivo | 30.56 | 23.61 | kg |
| Densidad Carga Lineal | 2.04 | 1.31 | kg/m |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13**
*Análisis del Umbral de Daño.*

| Según Cameron Mckenzie | | Explosivo | Emulnor 3000 | Emulnor 1000 |
|---|---|---|---|---|
| $Vpp = k\ x\ \left[\frac{d}{\sqrt{w}}\right]^{-\alpha}$ | | Dimensión Carga | 2" x24" Continua | 1 1/2"x24" Continua |
| | | VPP (mm/s) | d (m) | d (m) |
| Intenso fracturamiento | ( 4 x VPPc ) | 11022 | 0.61 | 0.46 |
| Creación de nuevas fracturas | ( 1 x VPPc ) | 2755 | 1.32 | 0.98 |
| Extender fracturas preexistentes | ( 1/4 x VPPc ) | 689 | 2.84 | 2.09 |

Fuente: Elaboración propia.

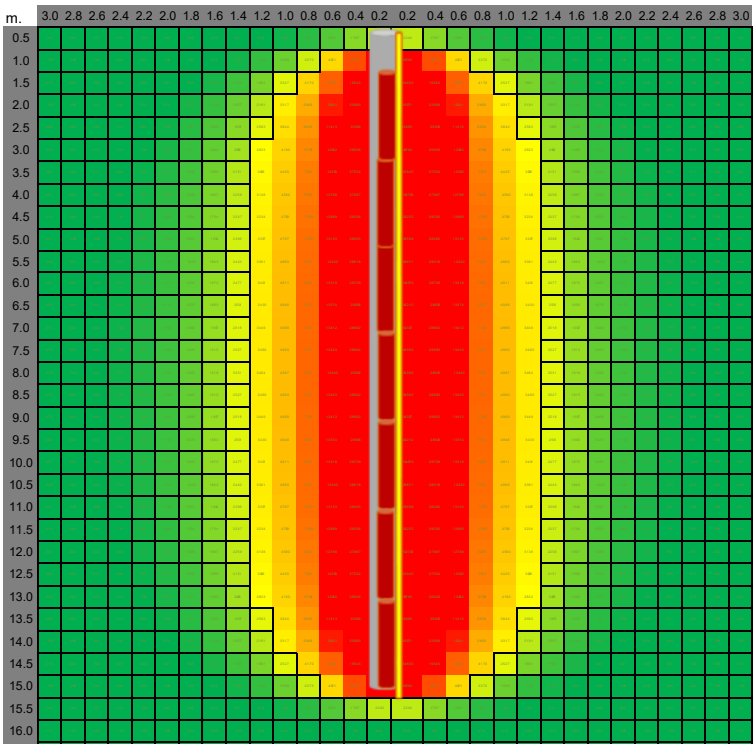



***Figura 9*** *Vista de perfil de Radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 3000 2"x24".*
Fuente: Elaboración propia.

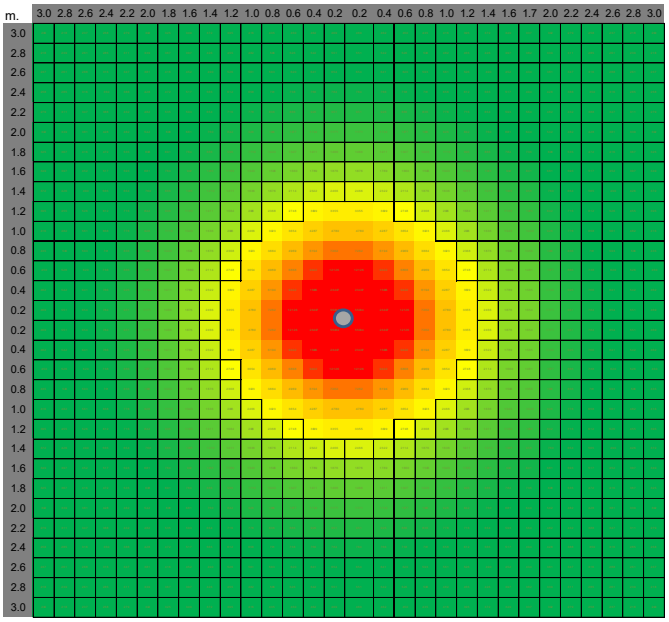



***Figura 10*** *Vista de Planta de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 3000 2"x 24".*
Fuente: Elaboración propia.

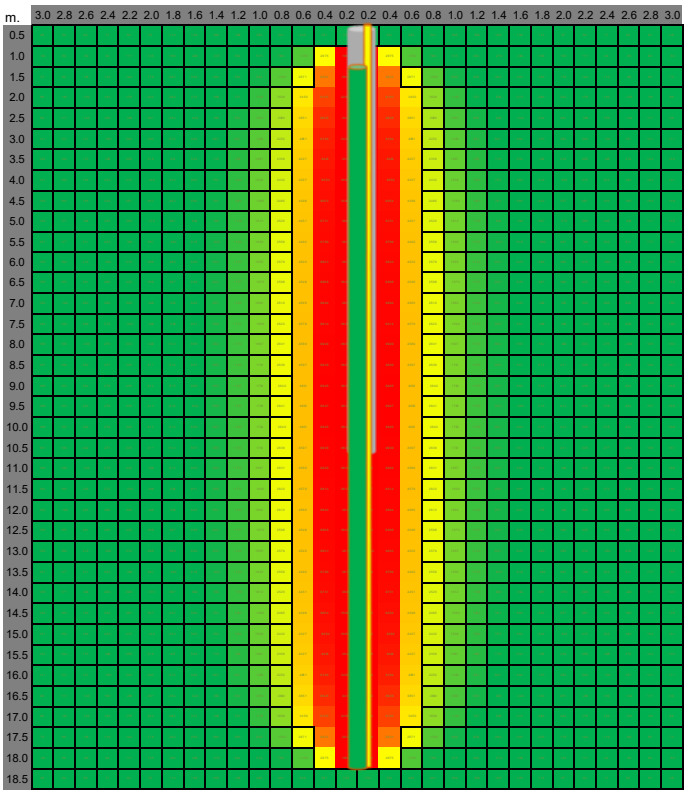


***Figura 11*** *Vista de perfil de Radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 1000 1 ½ "x24".*
Fuente: Elaboración propia.

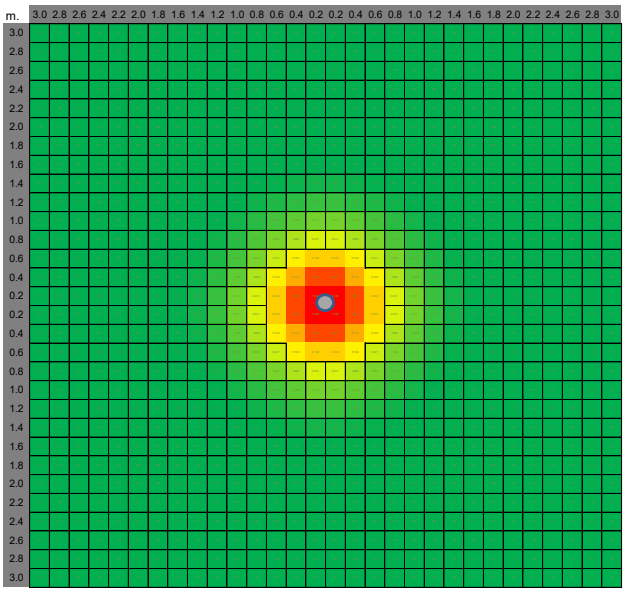


***Figura 12*** *Vista de Planta de radio de influencia de un taladro cargado con Emulnor 1000 1 ½ "x24.*
Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Áreas Involucradas.

Las áreas involucradas para el cumplimiento de los objetivos antes y durante la visita técnica de Famesa Explosivos S.A.C. son las siguientes:

a. Operación Mina / Productividad: Hacer el seguimiento de las actividades propuestas a través de su supervisión.
b. Planeamiento / Geomecánica: Implementación de los diseños de mallas de perforación, recomendación y evaluación geomecánica de los tajos capacitación al personal en la evaluación geomecánica de tajos de taladros largos y de medición de los parámetros de control con equipos de sismo grafía.

### 4.2.1 Propuesta de Diseño de Voladura para Tajos completos en Taladros Largos con Broca de 76mm.

De acuerdo al planteamiento de diseño de malla y la adecuada selección de explosivo usando el monitoreo y análisis de vibraciones, se puede plantear un diseño por fases (Contreras, 2009). No obstante, no hay mención con la propuesta de hacer voladura de tajos completos en taladros largos. Esto se logró gracias a varias pruebas y análisis de detonación.

Se propuso el siguiente diseño de secuencia de salida en voladura para tajos completos (slot, zanja y filas) en los cuales se utiliza el diámetro de perforación para todo el proyecto 76mm, esto involucra un diseño en la distribución de retardos el cual el factor de potencia sea distribuido de tal manera que se controle el daño contacto de la caja techo utilizando explosivos de menor energía para un minado controlado.

Respecto a trabajos anteriores en voladura de taladros largos, los cuales señalan un minado por fases: (Ojeda, 2010).

Primera etapa: Voladura de Slot.

Segunda etapa: Voladura de Zanja.

Tercera etapa: Voladura de filas.

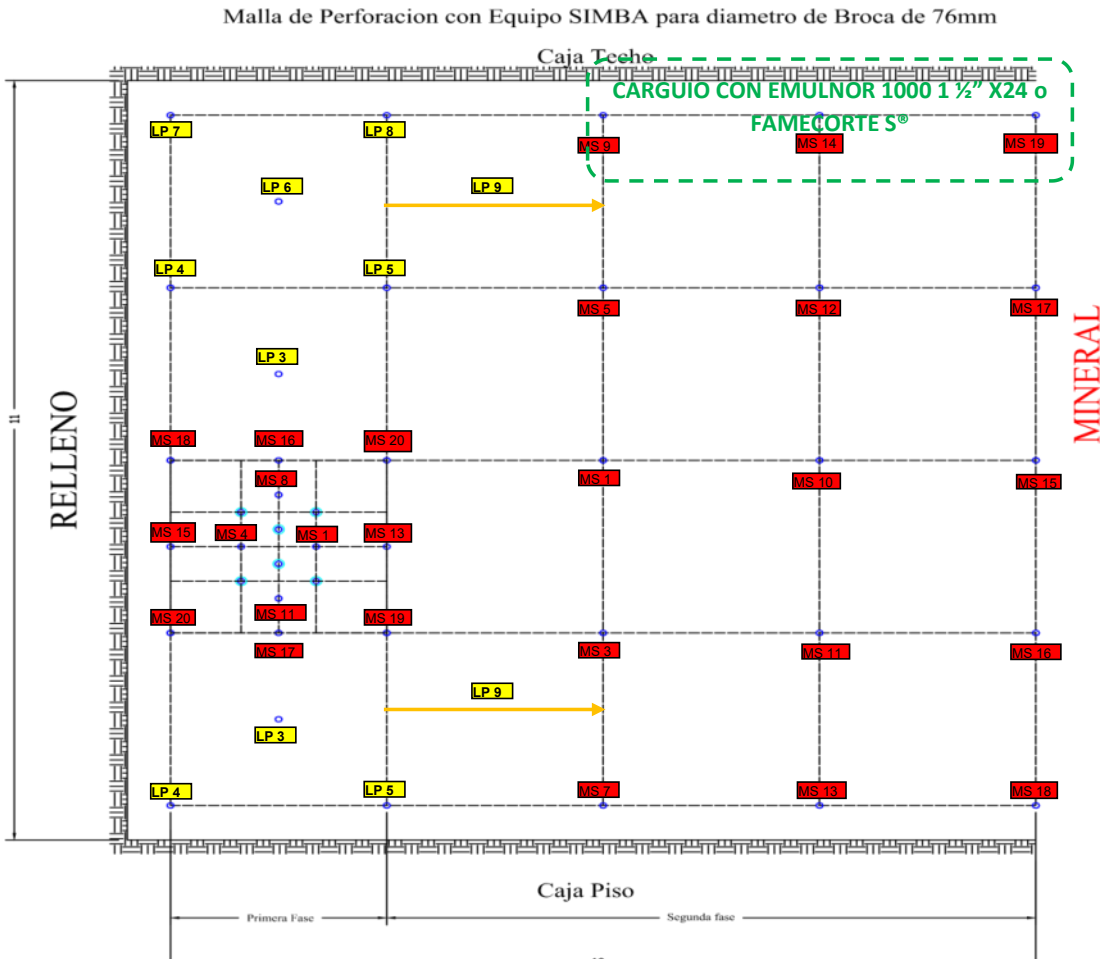



***Figura 13*** *Diseño de Voladura para diámetro de 76mm.*
Fuente: Elaboración propia.

Muestra la distribución de retardos propuesta para una voladura de tajo completo, utilizando FANEL® (detonadores pirotécnicos) de Famesa Explosivos S.A.C., desde el numero 1 periodo corto hasta el número 9 de periodo largo, así mismo se utilizan puentes para la secuencia e iniciación de las filas de producción.

Para el control de la caja techo se propone utilizar Emulsión encartuchada Emulnor 1000 de 1 ½" x 24". El cual va a desacoplar el taladro produciendo menor radio de influencia en el contacto.

**Tabla 14**
*Indicadores de voladura resumen para diámetro de 76mm.*

| **TOTAL, DE RENDIMIENTO** | **CANT.** | **UNIDADES.** |
|---|---|---|
| **Factor de Potencia** | **0.29** | **Kg/T** |
| **Factor de Carga** | **0.73** | **Kg/m3** |
| **Carga Lineal** | **2.48** | **Kg/m** |
| **TOTAL, DE EXPLOSIVOS** | **CANT.** | **UNIDADES.** |
| Emulnor 5000 2"x24" | 0.000 | Kg |
| Emulnor 3000 2"x24" | 1102.78 | Kg |
| Emulnor 3000 1 1/2"x 24" | 38.235 | Kg |
| Emulnor 1000 1 1/2"x 24" | 52.083 | Kg |
| Carmex 7 pies. | 2 | Pza. |
| Mecha Rápida Z-18 | 0.5 | m |
| Pentacord 5P (amarre de Fanel) | 238.5 | m |
| Pentacord 10P (t**alad**ro cargado) | 504.0 | m |
| Fanel LP 1 al 9 de 4.2m | 11 | Pza. |
| Fanel LP 1 al 16 de 15m | 9 | Pza. |
| Fanel MS 1 al 20 de 4.2m | 27 | Pza. |
| Fanel MS 1 al 20 de 4.2 m | 27 | Pza. |

Fuente: Elaboración propia.

La presente tabla 14 muestra el resumen de los indicadores de voladura según el diseño para un diámetro de taladro de 76mm., los cuales el más resaltante es el factor de potencia de 0.29Kg/T, cabe resaltar dicho indicador es calculado con las propiedades del explosivo utilizado que es Emulsión encartuchada en su totalidad, desde el carguío y distribución del slot, zanja y filas de producción.

De acuerdo a los análisis de vibraciones productos de voladura en los tajos, se sugiere para el diseño de los taladros alejarlos a (1.3m -0.9m) de la caja techo con diámetro de perforación de 76mm y 64mm respectivamente.

## 4.3 Voladura de Taladros Largos -Tajo Completo (Slot, Zanja y Filas).

### 4.3.1 Primera Voladura.

En coordinación con Ing. Dilmer Quispe Asistente de Superintendencia de Mina U.M. Inmaculada, se inició la primera prueba de voladura de tajo completo en el Nv.4315 Tj 7200 AC 713181 proyectado con un tonelaje de 3201 Toneladas, con un diámetro de 76mm y longitud de 15m. El carguío de taladros se realizó con Emulnor 3000 2"x24" en la distribución de retardos se usó Fanel MS (periodo corto) para el slot y filas, Fanel LP (periodo Largo) para la zanja, donde se obtuvo un **Factor de Potencia de 0.33Kg/T**.

Así mismo se ubicó un sismógrafo para el registro de vibraciones a 50 m del último taladro de las filas.

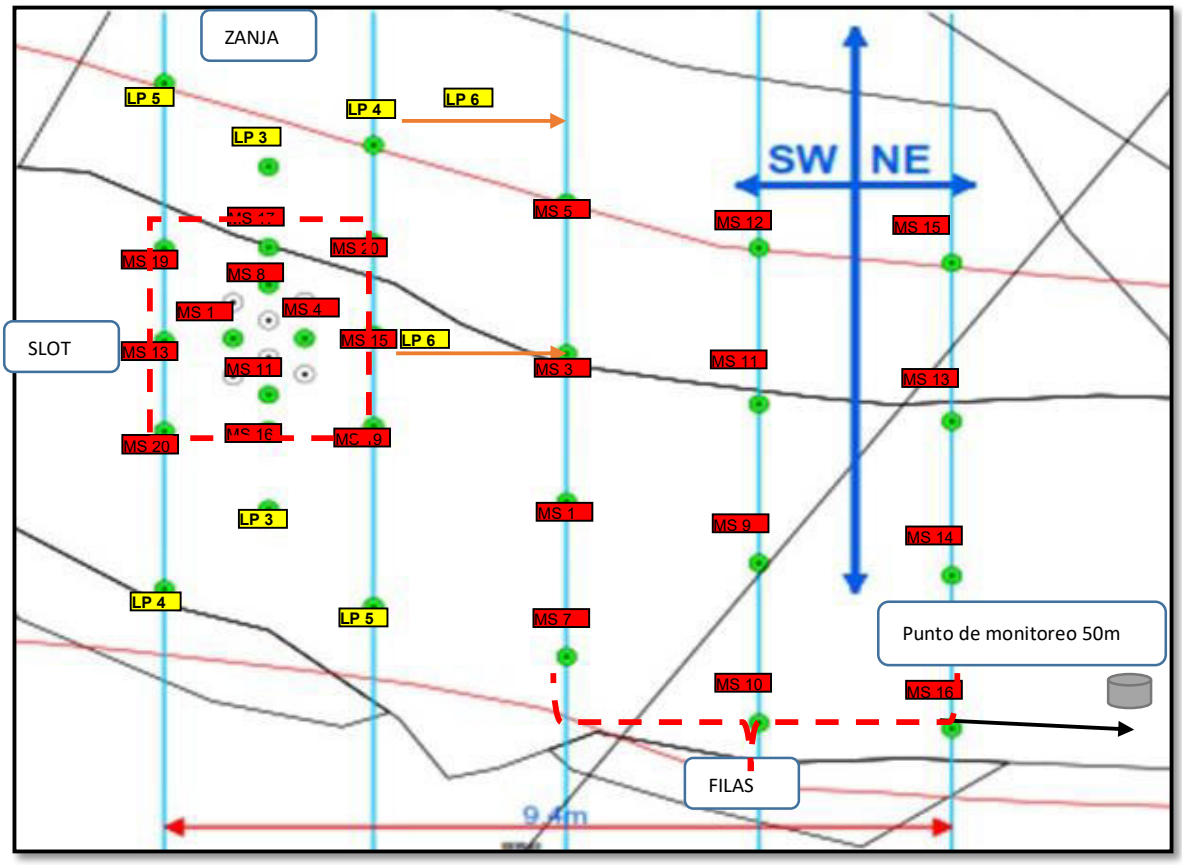



***Figura 14*** *Diseño de carguío y secuencia con periodo corto y periodo Largo.*

Fuente: Área de Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.- U.M. Inmaculada.

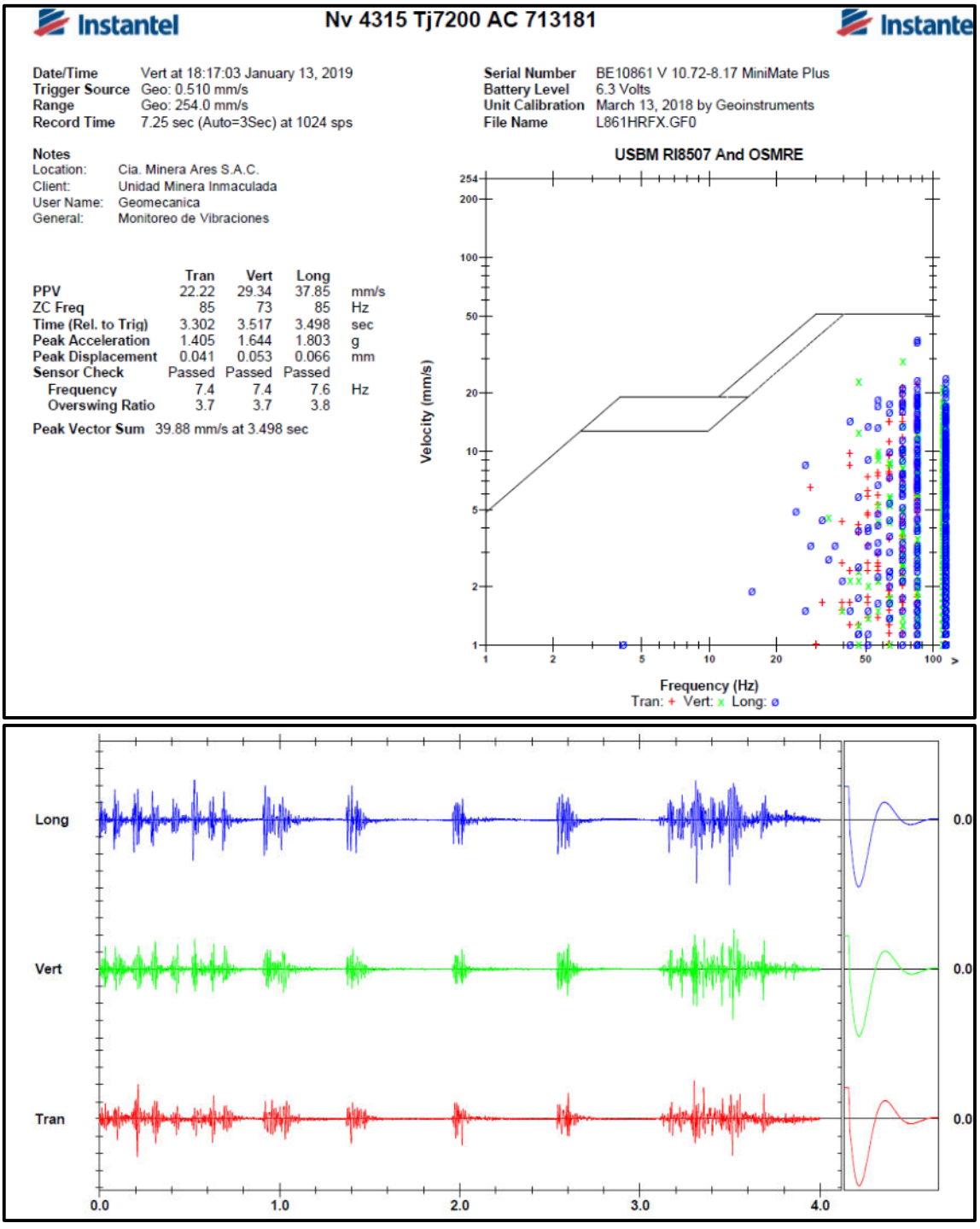



***Figura 15*** *Registro de vibraciones con equipo Instantel.*
Fuente: Área de Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.

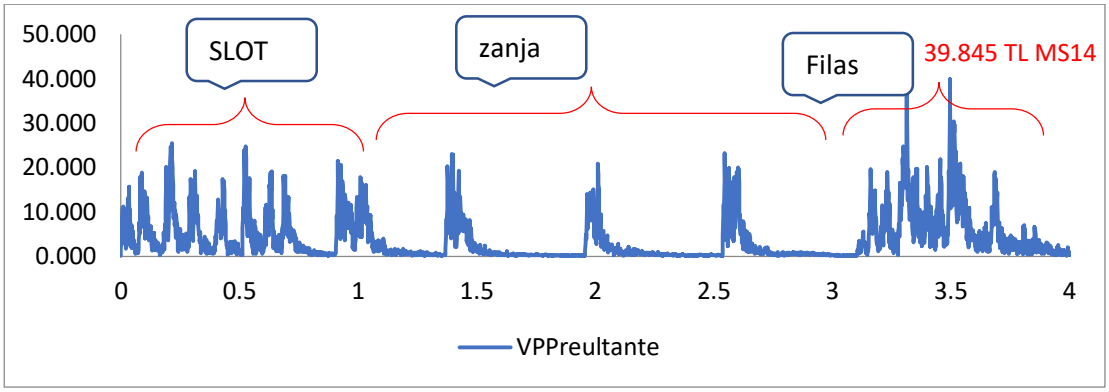



***Figura 16*** *Análisis de vibraciones del TJ 7200 AC 713181.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. - U.M. Inmaculada.

El análisis de ondas de la VPP resultante respecto al TJ7200, no sobrepaso el umbral de daño, cuyo resultado se obtuvo un pico de 39.84 mm/s pertenece al taladro con fanel #14 de las filas con periodo de 450ms, registrado a 50m de distancia del disparo.

Se muestra en el Anexo 8 y Anexo 9 el procedimiento de perforación y voladura de la compañía.



***Figura 17*** *Carguío con Emulnor 3000 2"x24" y taco de 1.40m.*
Fuente: Área de Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.- U.M. Inmaculada.

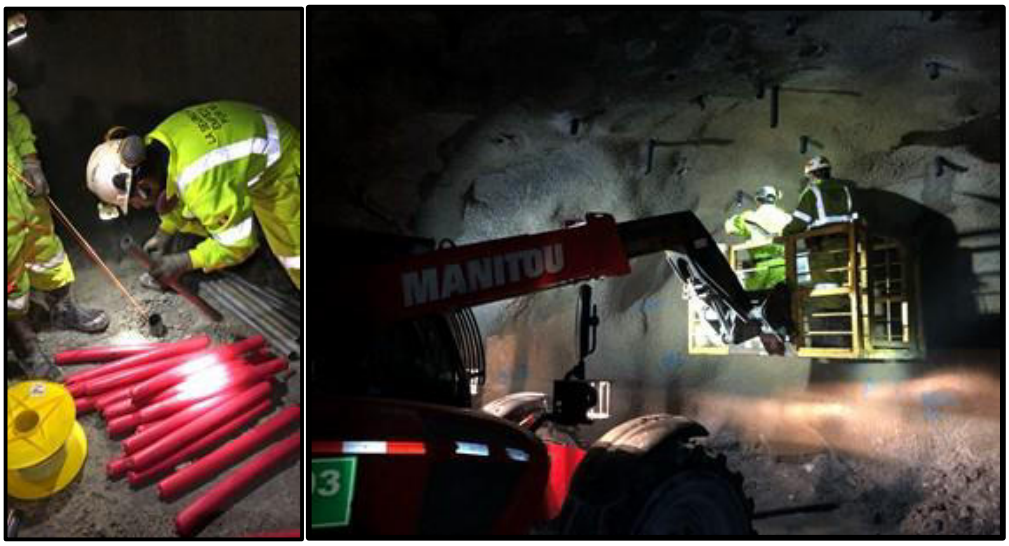



***Figura 18*** *Carga desacoplada utilizando tubo de PVC.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.- U.M. Inmaculada.




***Figura 19*** *Resultado de voladura control de caja techo.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.- U.M. Inmaculada.



***Figura 20*** *Resultado de fragmentación.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.

### 4.3.2 Segunda Voladura.

Voladura de tajo completo en el Nv 4395 TJ 3200 AC323577B proyectado para un tonelaje de 1889 Toneladas, en coordinación con los líderes de voladura se procedió al diseño y recomendación para el carguío el proyecto, con diámetro de taladro de 64mm y longitud de 7m.

El carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 1 ½" x24 para slot, Emulnor 3000 1 ½" x24 para filas y Emulnor 1000 1 ½" x24 para taladros de perimetrales de caja techo.

En la distribución de retardos se usó Fanel MS periodo corto en slot y filas, Fanel LP periodo largo en la zanja del 1 al 16. donde se obtuvo un **Factor de Potencia de 0.22Kg/T.**

Así mismo se ubicó un sismógrafo para el registro de vibraciones a 30 m del último taladro de las filas.



***Figura 21*** *Amarre de filas proyecto y resultado controlando la caja techo.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.

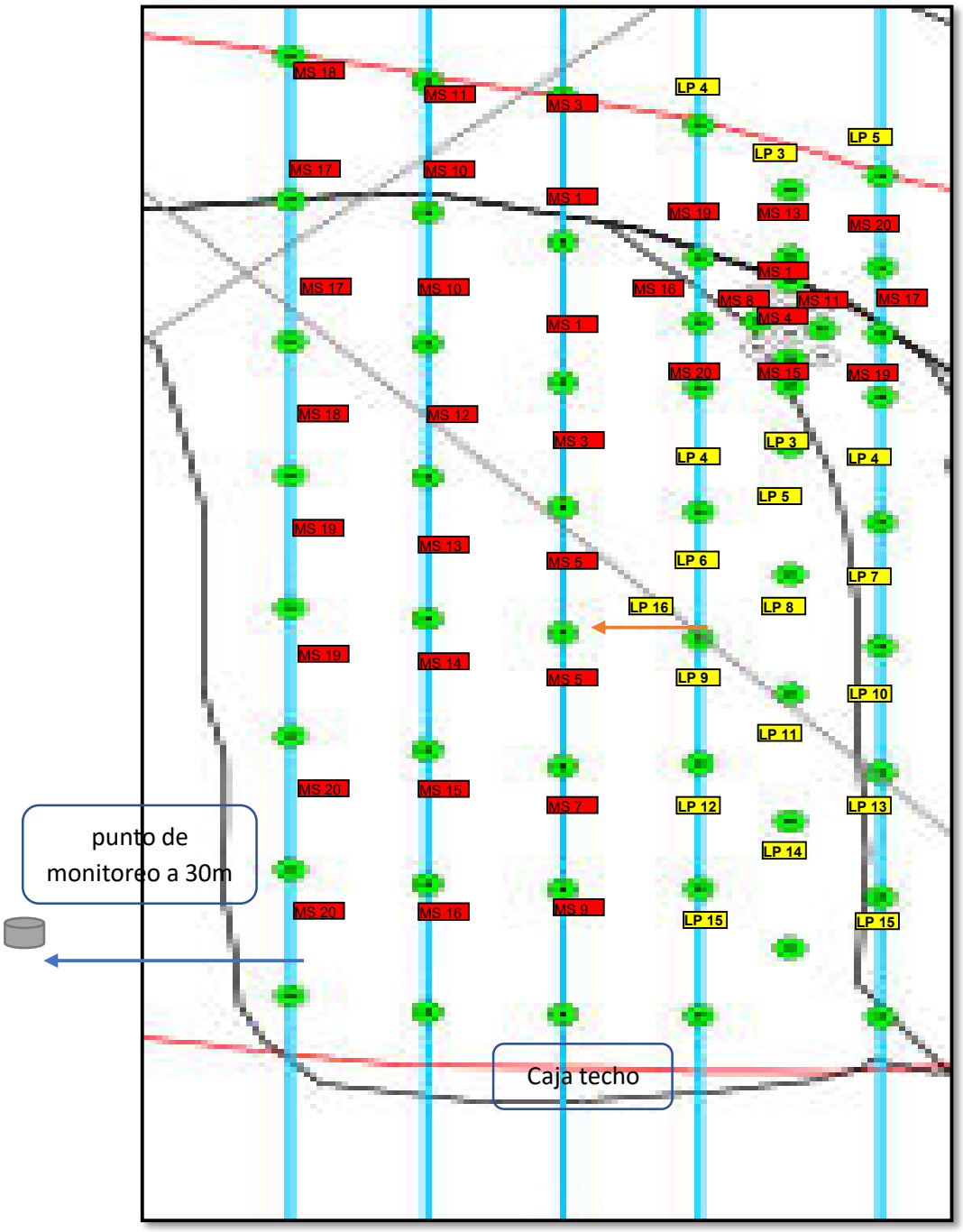



***Figura 22*** *Diseño de carguío y secuencia de voladura NV 4395.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.

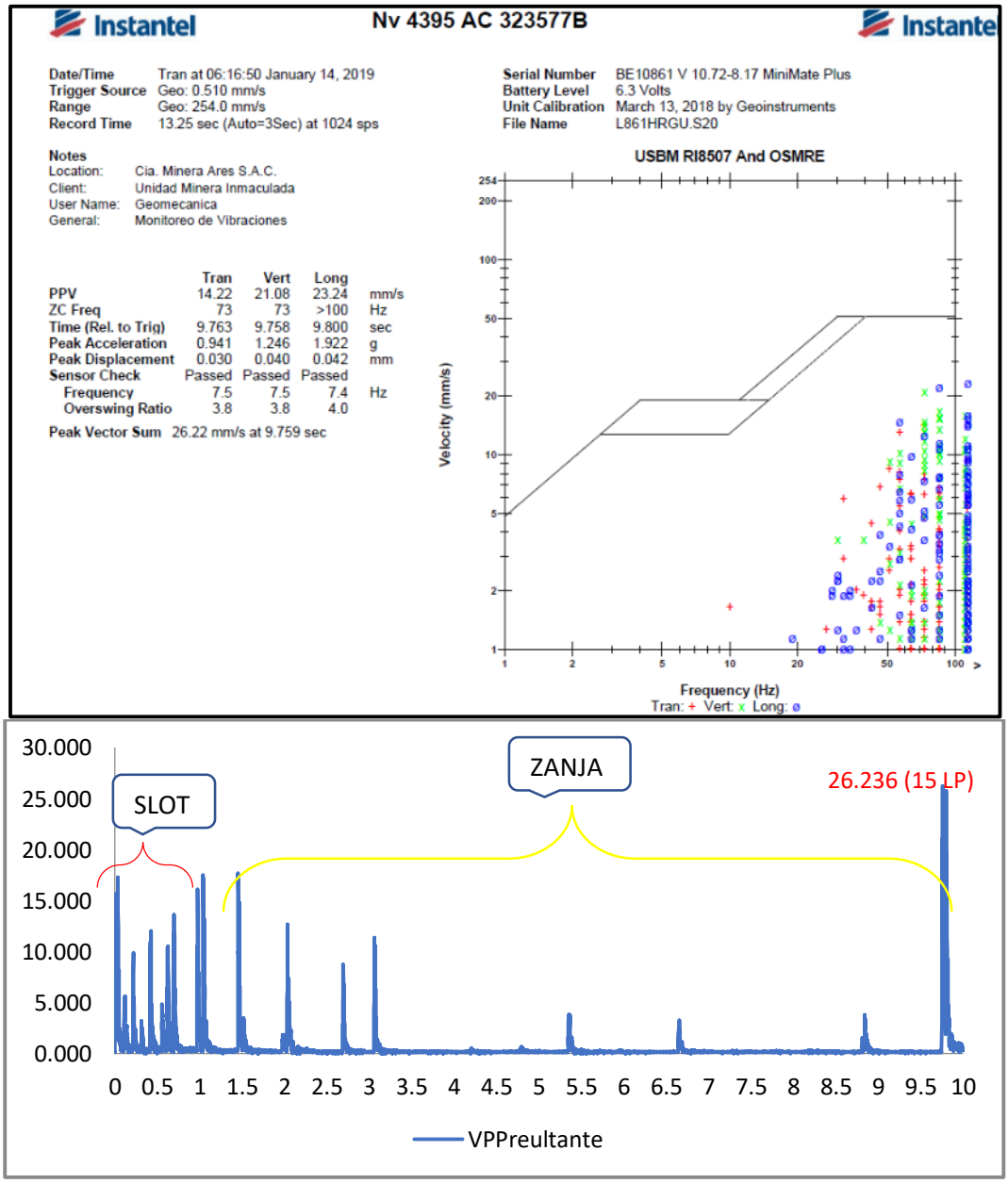



***Figura 23*** *Registro y análisis de vibraciones con equipo Instantel ubicado a 30m de la última fila.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.

El análisis de ondas de la VPP resultante respecto al TJ3200, no sobrepaso el umbral de daño, cuyo resultado se obtuvo un pico de 26.24 mm/s pertenece al taladro con fanel #15 LP de las filas con periodo de 9500ms, registrado a 30m de distancia del disparo.

### 4.3.3 Tercera Voladura.

Voladura de tajo completo se realizó en la guardia día en el Nv 4375 AC 623517, proyectado para un tonelaje de 1600 toneladas, en coordinación con el líder de voladura, donde se le indico el diseño de carguío y secuencia de voladura. Así mismo este proyecto se perforo taladros de alivio hacia la caja techo.

El carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 2” x 24” para slot y Emulnor 3000 2” x24 para filas, en la distribución de retardos se usó Fanel MS periodo corto en slot y Fanel LP periodo largo en la zanja y filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.78Kg/T, a causa de que se utilizó broca de 76mm en perforación y el tajo es de1600 T.

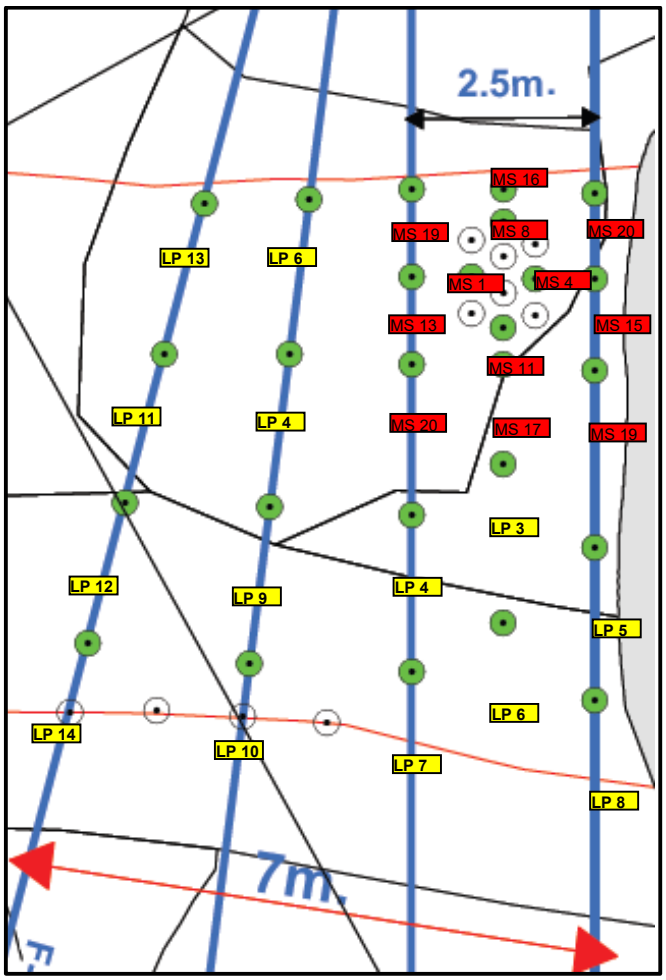



***Figura 24*** *Diseño de secuencia de salida Nv.4375 AC623517.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.



***Figura 25*** *Carguío y amarre de Slot Con Fanel de Periodo Corto.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.



***Figura 26*** *Taladros de Alivio no cargados.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.



***Figura 27*** *Voladura controlada sin daño a la caja Techo.*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. U.M. Inmaculada.

## 4.4 Voladura de Taladros Largos- Por fases.

### 4.4.1 Primera Voladura por fases.

Voladura de tajo taladros largos fecha 15/01/19 en el Nv 4330 Tj 5800 AC 583203, el carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 2” x24 para slot, Emulnor 3000 2” x24 para filas y Emulnor 1000 1 1/2” x24 para taladros de caja techo en la distribución de retardos se usó Fanel LP periodo largo en slot, zanja y filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.27Kg/T.

### 4.4.2 Segunda Voladura por fases.

Voladura de tajo taladros largos fecha 16/01/19 y 19/01/19 en el Nv 4400 Tj 5101B, el carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 1 1/ 2” x24 para slot, Emulnor 3000 1 1/ 2” x24 para filas y Emulnor 1000 1 1/2” x24 para taladros de caja techo en la distribución de retardos se usó Fanel LP periodo largo en slot, zanja y filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.27Kg/T.

### 4.4.3 Tercera Voladura por fases.

Voladura de tajo taladros largos fecha 16/01/19 en el Nv 4400 Tj 6700 AC674051, el carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 1 1/ 2" x24 para slot, Emulnor 3000 1 1/ 2" x24 para filas y Emulnor 1000 1 1/2" x24 para taladros de caja techo en la distribución de retardos se usó Fanel LP periodo largo en slot, zanja y filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.37Kg/T.

### 4.4.4 Cuarta voladura por fases.

Voladura de tajo taladros largos fecha 19/01/19 en el Nv 4460 Tj 1100 AC 114315, el carguío de taladros se realizó con Emulnor 3000 1 1/ 2" x24, en la distribución de retardos se usó Fanel LP periodo largo en slot y Fanel LP periodo largo en la zanja y filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.36 Kg/T.

### 4.4.5 Quinta Voladura por fases.

Voladura de tajo taladros largos piloto fecha 20/01/19 y 21/01/19 en el Nv 4375 Tj 5800 AC 533505, el carguío de taladros se realizó con Emulnor 5000 2" x24 para slot, Emulnor 3000 de 2"x24" y 1 1/2" x24 para la penúltima fila y Emulnor de 1000 1 ½" x24 para la última fila caja techo en la distribución de retardos se usó Fanel LP periodo largo en slot y zanja y Fanel MS periodo corto en filas. donde se obtuvo un Factor de Potencia de 0.23 Kg/T.

## 4.5 Análisis de indicadores

El análisis de indicadores se realiza luego de los datos obtenidos en campo con el objetivo de realizar las gráficas comparativas de la línea base que se levantó en la U.M. Inmaculada con las pruebas realizadas tanto en voladura de Taladros Largos (Tajos completos y por fases)

Se registró un elevado factor de potencia y por consiguiente un aumento en el costo de voladura en el proyecto AC 623517 de 0.78 kg/T y 1.41 $/T. debido a que este fue perforado con un diámetro de 76mm y solo se programó 1600 T. figura 29.

Así mismo se obtuvo como promedio de los proyectos volados tanto de voladura en fases y voladura de tajo completo:

Factor de Potencia (FP): 0.35 Kg/T

Costo de Voladura 0.69$/T

Frente a la línea base que se tuvo:

Factor de Potencia (FP): 0.42 Kg/T

Costo de Voladura 0.90 $/T

**Tabla 15**

*Tabla de indicadores (factor de potencia y costo de voladura).*

| Unidad Minera | Labor | Total Explosivos (Kg) | Costo de Explosivos + Accesorios | Toneladas Rotos (T) | Linea Base (Kg/T) | Factor de Potencia (Kg/T) | Linea Base ($/T) | Costo de Voladura ($/T) | OBSERVACION |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inmaculada (TL) | Tj 5800 AC 58320 | 1895.8 | 3504.4 | 6955.2 | 0.42 | 0.27 | 0.90 | 0.50 | Voladura en Fases |
| Inmaculada (TL) | Tj 5101B | 443.4 | 843.3 | 1617.4 | 0.42 | 0.27 | 0.90 | 0.52 | Voladura en Fases |
| Inmaculada (TL) | Tj 6700 AC67405 | 681.7 | 1471.2 | 1828.3 | 0.42 | 0.37 | 0.90 | 0.80 | Voladura en Fases |
| Inmaculada (TL) | Tj 1100 AC 11431 | 645.6 | 1448.8 | 1817.5 | 0.42 | 0.36 | 0.90 | 0.80 | Voladura en Fases |
| Inmaculada (TL) | Tj 5800 AC 58350 | 2800.0 | 5084.6 | 12401.0 | 0.42 | 0.23 | 0.90 | 0.41 | Voladura en Fases |
| Inmaculada (TL) | Tj 7200 AC 71318 | 1087.5 | 1918.2 | 3313.2 | 0.42 | 0.33 | 0.90 | 0.58 | Voladura tajo completo |
| Inmaculada (TL) | AC323577B | 425 | 904.5 | 1896.7 | 0.42 | 0.22 | 0.90 | 0.48 | Voladura tajo completo |
| Inmaculada (TL) | AC 623517 | 1300 | 2359.2 | 1674.8 | 0.42 | 0.78 | 0.90 | 1.41 | Voladura tajo completo |
| | | | | Promedio | | **0.35** | | **0.69** | |

Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. – U.M. Inmaculada.

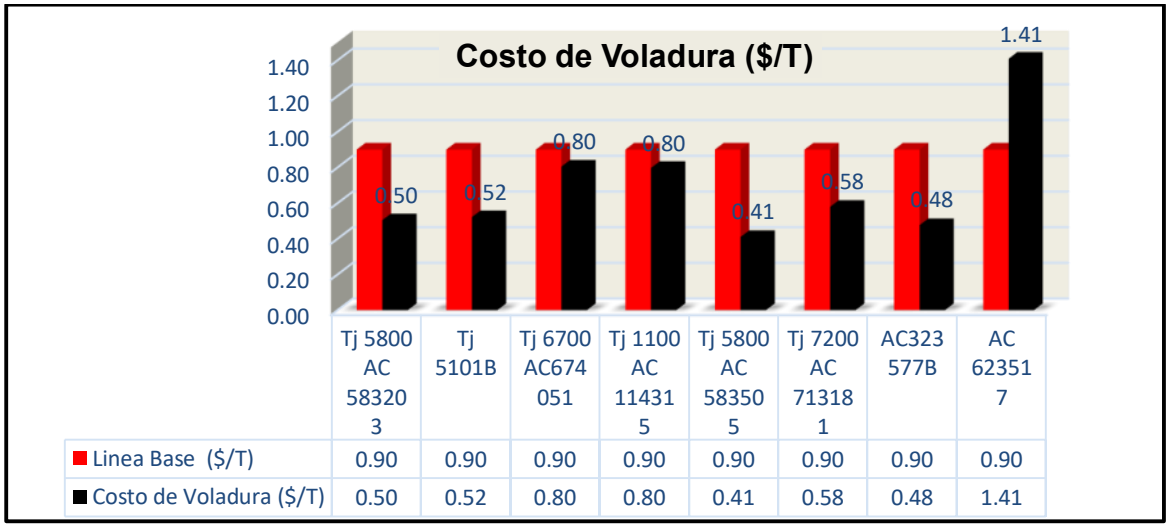



***Figura 28*** *Gráfica comparativa de costo de voladura ($/T).*

Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. - U.M. Inmaculada.

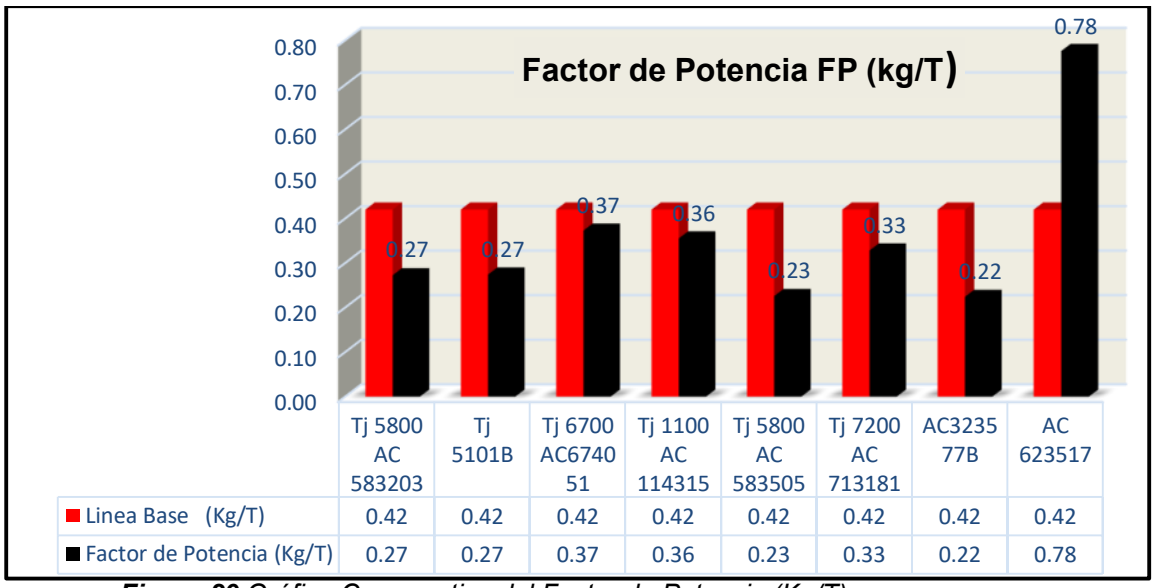



***Figura 29*** *Gráfica Comparativa del Factor de Potencia (Kg/T).*
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C. - U.M. Inmaculada.

De acuerdo al análisis de indicadores se obtuvieron los siguientes indicadores. **Factor de Potencia 0.35 Kg/T y Costo de Voladura 0.69($/T).** Respecto a la **línea Base de 0.42Kg/T y 0.90 $/T**. En la cual se obtuvo una diferencia de 16.67% y 23.33% respectivamente.

**Tabla 16**
*Cuadro comparativo de Factor de Potencia (kg/T).*

| Factor de Potencia (Kg/T) | | |
|---|---|---|
| **Linea Base (Kg/T)** | **Logrado Famesa (kg/T)** | **Diferencia %** |
| 0.42 | 0.35 | 16.67% |

Fuente: Elaboración Propia.

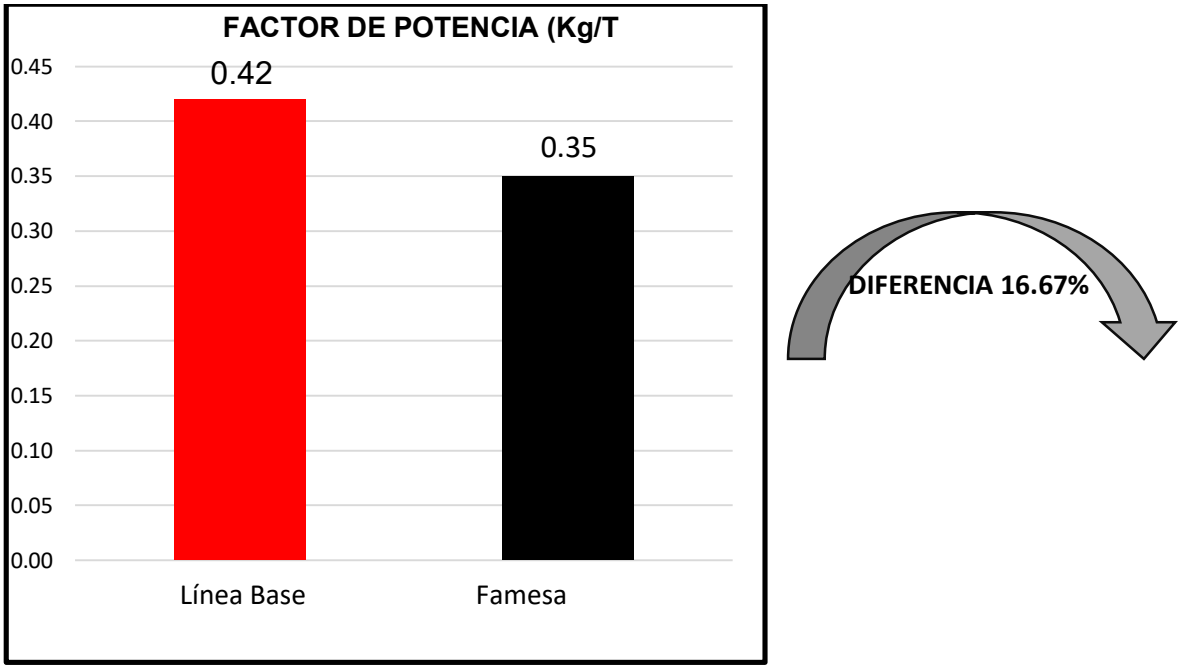



***Figura 30*** *Gráfica de diferencia del Factor de Potencia.*
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 17**
*Cuadro comparativo de costo de voladura ($/t).*

**Costo de Voladura ($/T)**

| Linea Base ($/T) | Logrado Famesa ($/T) | Diferencia (%) |
|---|---|---|
| 0.9 | 0.69 | 23.33% |

Fuente: Elaboración Propia.

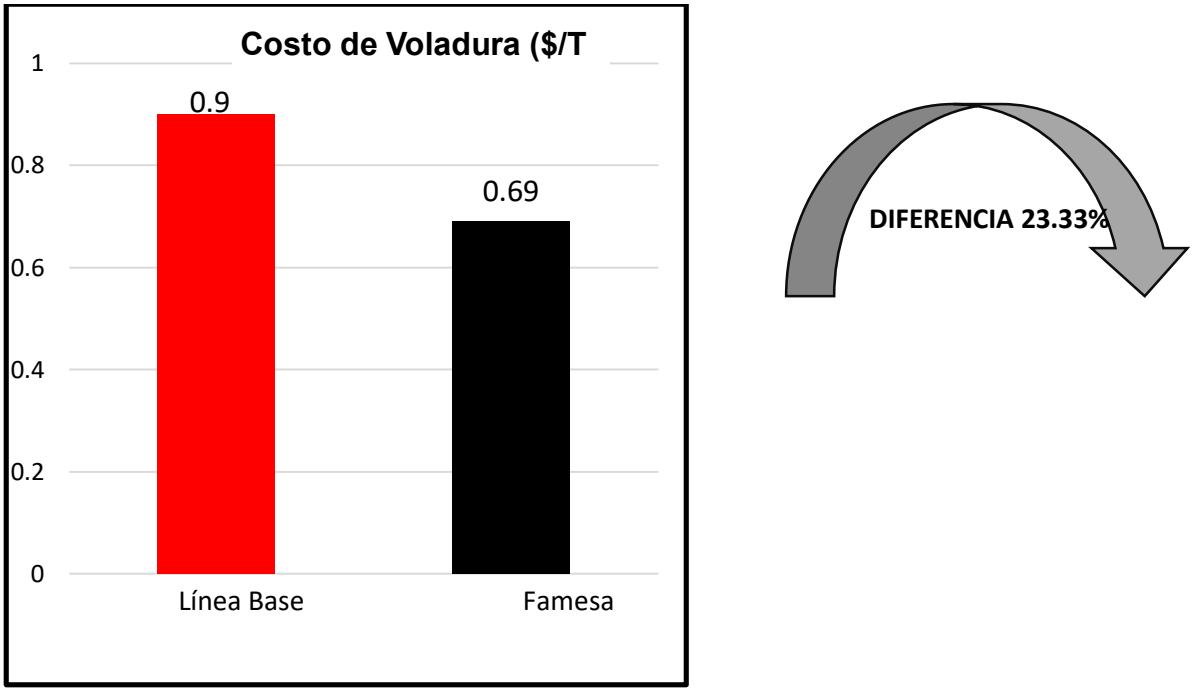



***Figura 31*** *Grafica de diferencia de costo de voladura ($/T).*
Fuente: Elaboración Propia.

Se hizo un cálculo con línea base con los costos unitarios promedio de explosivos de compañía, Anexo 6 lo que significaría un ahorro en la producción del costo de voladura: $240.00 por día y $ 7200.00 por mes.

**Tabla 18**
*Resumen en el ahorro de la producción.*

| Unidad Minera | Linea Base | Logrado Famesa Marzo | Ahorro | Unidades | Ahorro ($/t) | Programa (T) | Ahorro Dia | Ahorro Mes |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| INMACULADA (TL) | 0.90 | 0.84 | 0.06 | $/t | $ 0.06 | 4,000 | $ 240.00 | **$ 7,200.00** |
| INMACULADA (TL) | 0.45 | 0.40 | 0.05 | kg/t | $ 0.05 | | | |

Fuente: Elaboración Propia.

# V. CONCLUSIONES.

Con las pruebas realizadas se puede demostrar que la voladura de tajos completos y voladuras por fases se redujo significativamente los principales indicadores de: Factor de Potencia y Costo de Voladura cuyo valor inicial fueron de: (0.42Kg/T y 0.90 $/T) y como resultado de las pruebas: (0.35 Kg/T y 0.69$/T) con una diferencia de 16.67% y 23.33% respectivamente. Así mismo se consiguió un ahorro en la producción significativamente en el costo de voladura: 240.00 $/día y 7200.00 $/mes.

Se obtienen los siguientes radios de influencia en relación al explosivo utilizado:(Emulnor 3000 2”x24” radio de influencia de 1.32m) y (Emulnor 1000 1 ½” x24 radio de influencia de 0.98m). Así mismo los tajos con Bz mayor a 70° no presentaron alteración en la caja techo.

## VI. RECOMENDACIONES.

Se recomienda ampliar las pruebas de Voladura de Tajos completos para determinar el uso Fanel Ms periodo corto en la secuencia de retardo entre 100ms en el slot, así se obtiene más holgura para utilizar todos los periodos en la zanja, filas de producción y que cada taladro tenga su retardo. De tal manera que se pueda estandarizar en la unidad minera Inmaculada.

Se recomienda poder brindar capacitación al personal encargado de los monitoreos de vibraciones a fin recabar información confiable y tomar decisiones correctamente para obtener resultados más acertados, al momento de realizar los análisis.

## VII. REFERENCIAS.


Ausenco. (2012). *Proyecto Inmaculada.* Ayacucho.

Chura, H. (2018). Geomecánica dinámica en la optimización de radio de influencia efectiva en voladura de taladros largos de la unidad operativa inmaculada, Hochschild Mining – Ayacucho. *(Tesis de pregrado).* Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

Contreras, W. (2009). Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones. *(Tesis de pregrado).* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.

Dueñas, J. (2018). Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el bypass 179. compañia minera kolpa. *(Tesis de Pregrado).* Universidad Nacional del Altiplano, Huancavelica.

Enaex, C. d. (2005). *Manual de Monitoreo de Vibraciones generadas por Voladuras, Análisis y Modelamiento.* Chile.

Famesa Explosivos S.A.C. (2016). *Quienes somos*. Obtenido de http://www.famesa.com.pe/quienes-somos/.

Famesa Explosivos S.A.C., S. (2019). *Plan de Trabajo para voladura de Tajos completos.* Unidad Minera inmacualda, Ayacucho.

Galera JM, Alvarez M, & Bleniaswki. (2015). *Evaluation of the deformation modulus of rock masses using RMR comparison with dilatometer test.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 26 (November).

Insatantel. (2015). Manual de Operador Blastware. Ottawa, Ontario, Canadá.

Instantel. (2013). Manual de Operador Minimate Plus. Ottawa, Ontario, Cánada.

Merma, A. (2018). Optimización de los estándares en perforación y voladura de taladros largos, para el incremento de la productividad y la reducción de los costos de operación en la CIA. Minera ares SAC U.O. Inmaculada. *(Tesis de Pregrado).* Universidad Nacional del Altiplano, Ayacucho.

MINEM. (Marzo de 2018). *Unidad Minera Inmaculada*. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Minera%20Ares%20y%20Huancute%20%20marzo%202018.pdf.

Ojeda, R. (11 de Noviembre de 2010). *Diseño de voladura en crater aplicando nuevo modelo matematico*. Obtenido de Monografias: https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/diseno-voladura-crater-aplicando-nuevo-modelo-matematico/diseno-voladura-crater-aplicando-nuevo-modelo-matematico.shtml.

P.Van, & B.Vasárhelyi. (2010). *Sensitivity analysus of the hoek Diederichs rocks mass deformation modulos stimating.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.

Seguel R, & Bracchitta D. (2010). *Propuesta para la construccion y monitoreo de estructuras experimentales, orientadas a la evaluación del complejo minero San Jose del Abra.* SCM EL ABRA.

## VIII. ANEXO.

ANEXO 1

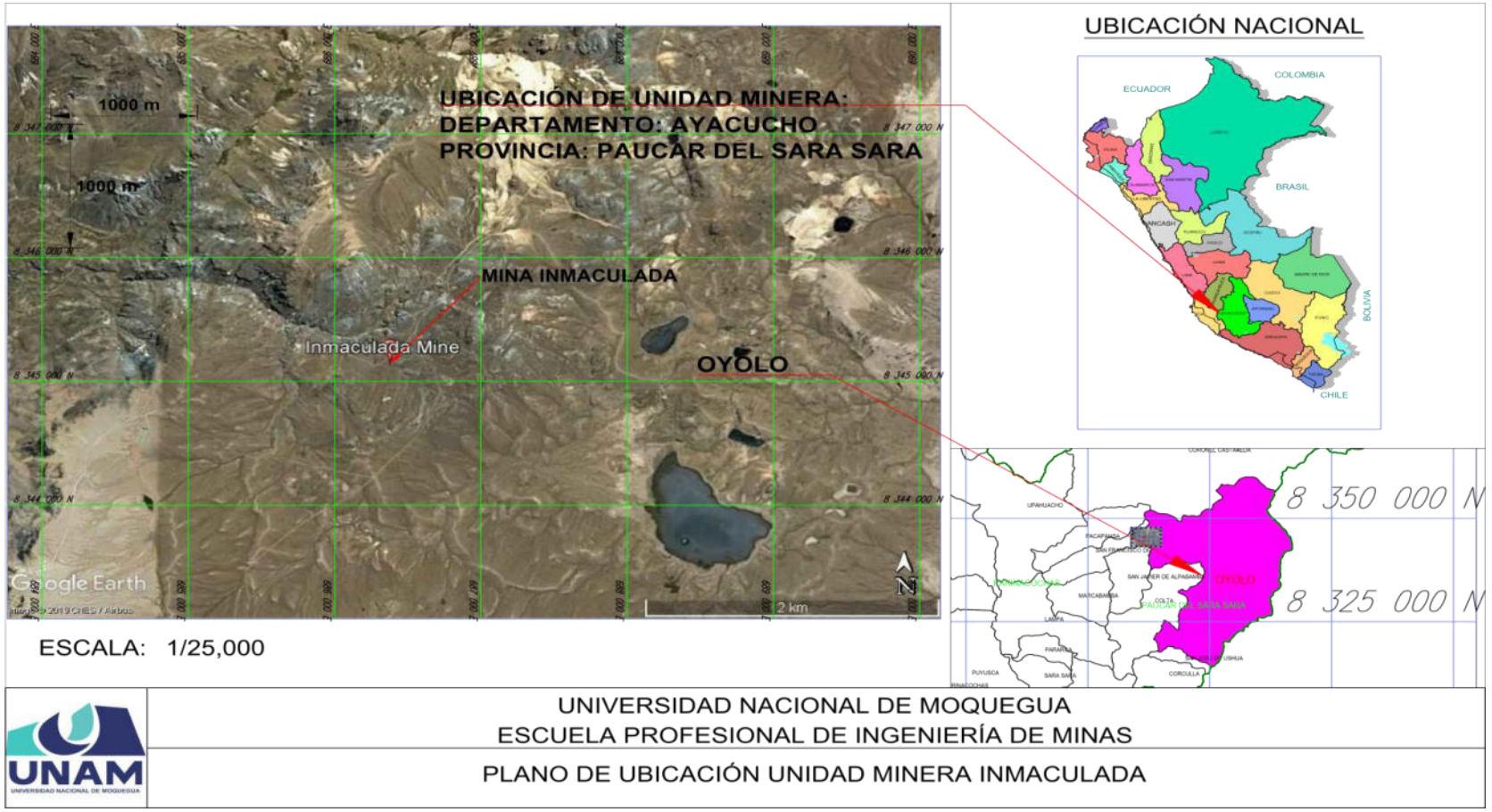



***Figura 32*** *Plano de ubicación U.M. Inmaculada.*
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2

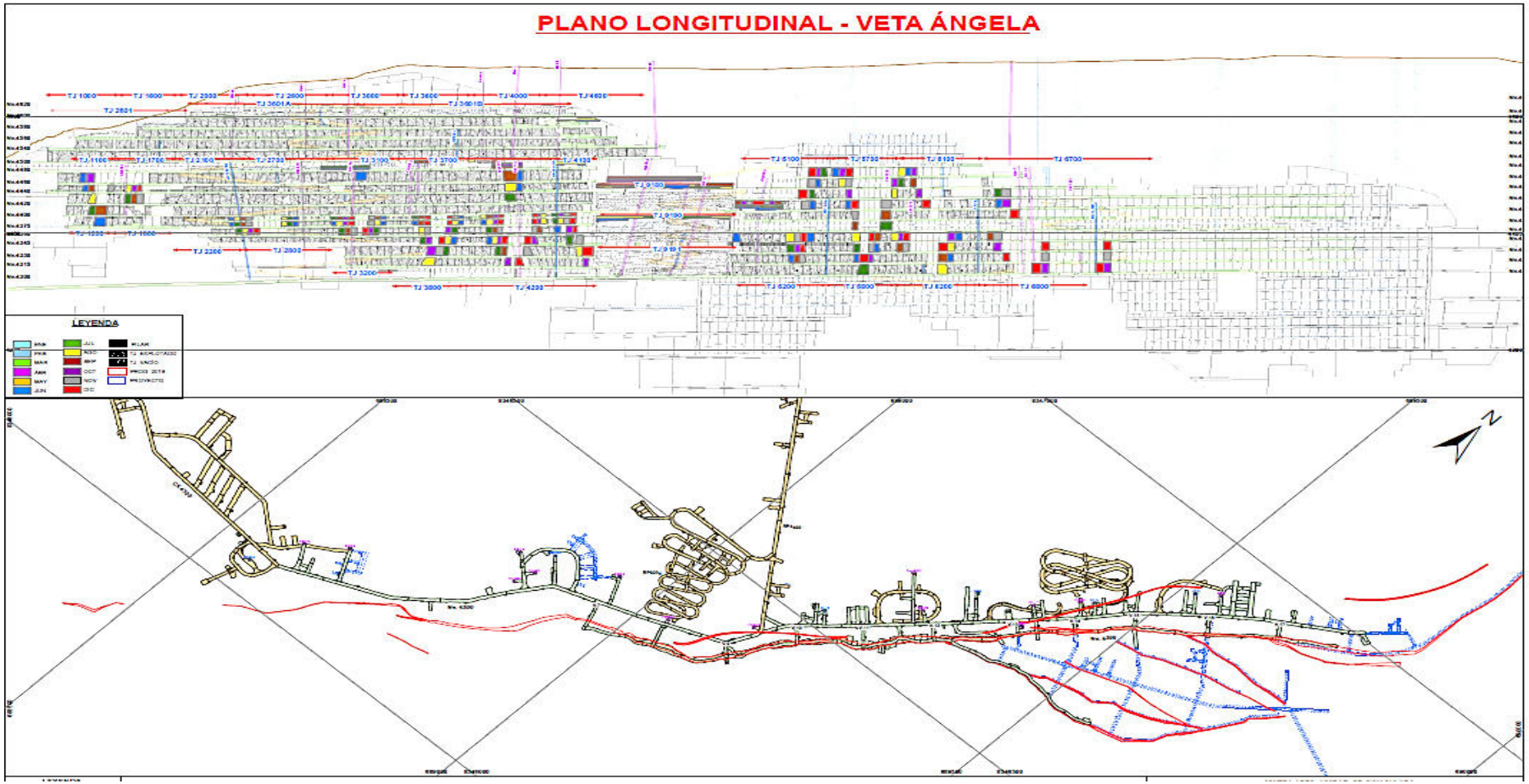



***Figura 33*** *Plano Longitudinal Veta Angela.*
Fuente: Mina U.M. Inmaculada.

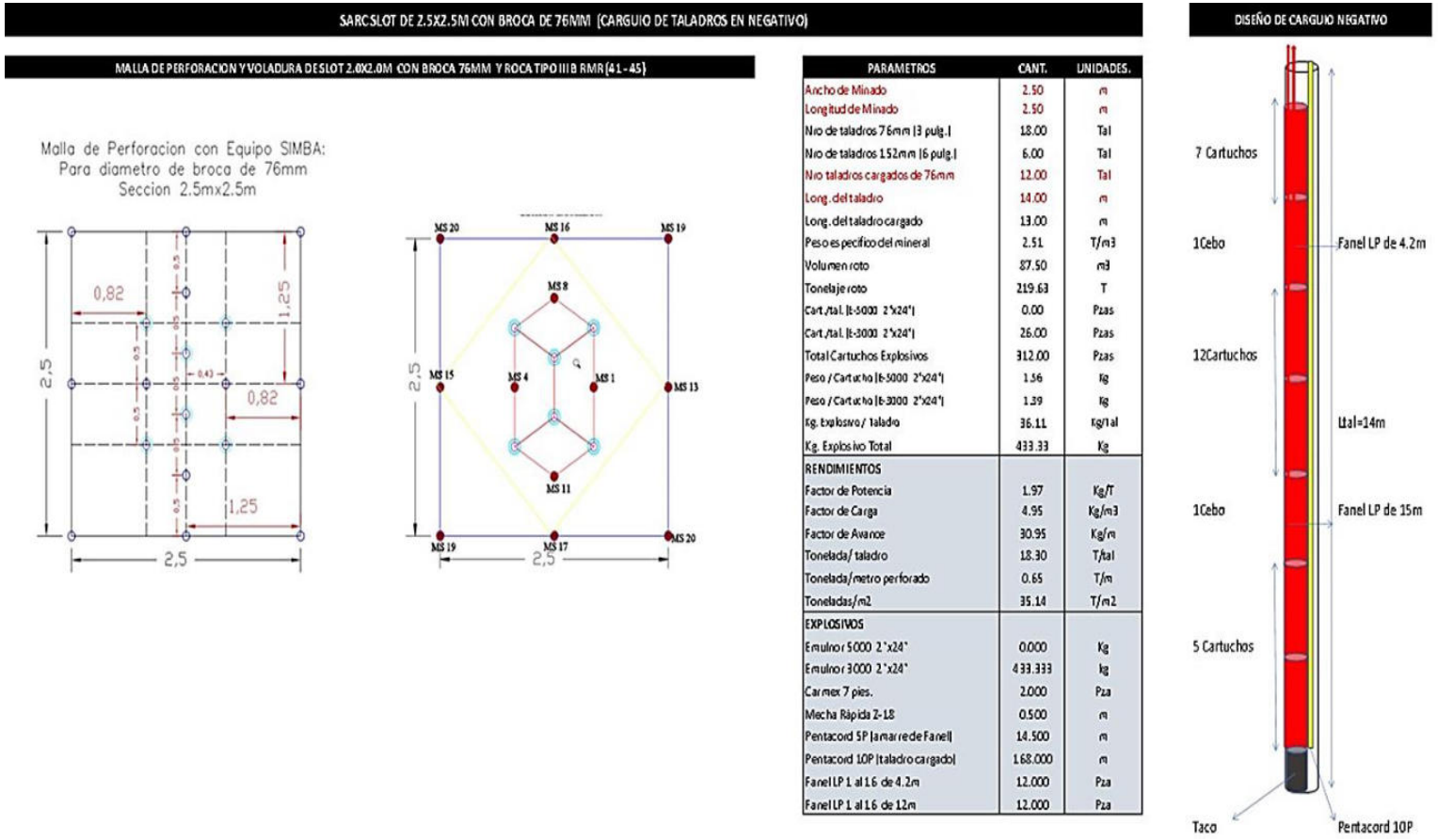
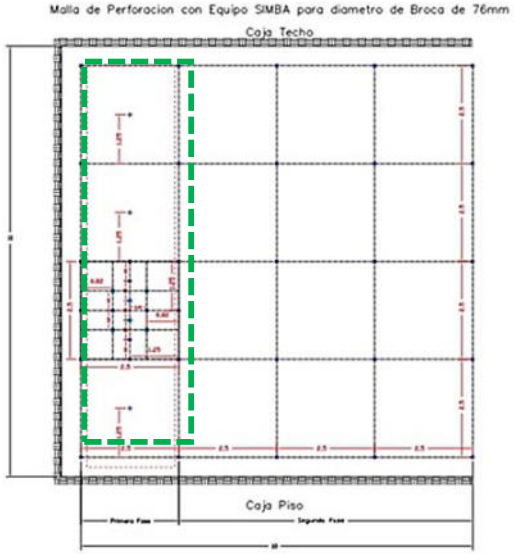



***Figura 34*** *Diseño de Carguío de Slot con diámetro de 76mm.*
Fuente: Elaboración propia.

**SARC ZANJA CON BROCA DE 76MM (CARGUIO DE TALADROS EN NEGATIVO)**

**MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA DE ZANJA CON BROCA 76MM Y ROCA TIPO III B RMR (40-45)**




| PARAMETROS | CANT. | UNIDADES. |
|---|---|---|
| Ancho de Minado | 2.50 | m |
| Longitud de Minado | 11.00 | m |
| Burden | 2.50 | Tal |
| Espaciamiento | 2.50 | Tal |
| Nro taladros cargados de 76mm | 7.00 | Tal |
| Nro taladros cargados de 64mm | 2.00 | Tal |
| Long. del taladro | 14.00 | m |
| Long. del taladro cargado | 13.00 | m |
| Peso especifico del mineral | 2.51 | T/m3 |
| Volumen roto | 385.00 | m3 |
| Tonelaje roto | 966.35 | T |
| Cart./tal. (E-5000 2"x24") | 0.00 | Pzas |
| Cart./tal. (E-3000 2"x24") | 26.00 | Pzas |
| Cart./tal. (E-3000 1 1/2"x24") | 26.00 | Pzas |
| Total Cartuchos Explosivos 2" | 182.00 | Pzas |
| Total Cartuchos Explosivos 1 1/2" | 52.00 | Pzas |
| Peso / Cartucho (E-5000 2"x24") | 1.56 | Kg |
| Peso / Cartucho (E-3000 2"x24") | 1.39 | Kg |
| Peso / Cartucho (E-3000 1.1/2"x24") | 0.74 | Kg |
| Kg. Explosivo / Taladro 76mm | 36.11 | Kg/Tal |
| Kg. Explosivo / Taladro 64mm | 19.12 | Kg/Tal |
| Kg. Explosivo Total | 291.01 | Kg |
| RENDIMIENTOS | | |
| Factor de Potencia | 0.30 | Kg/T |
| Factor de Carga | 0.76 | Kg/m3 |
| Factor de Avance | 20.79 | Kg/m |
| Tonelada/taladro | 138.05 | T/tal |
| Tonelada/metro perforado | 9.86 | T/m |
| Toneladas/m2 | 35.14 | T/m2 |
| EXPLOSIVOS | | |
| Emulnor 5000 2"x24" | 0.0 | Kg |
| Emulnor 3000 2"x24" | 252.778 | Kg |
| Emulnor 3000 1 1/2"x 24" | 38.2 | Kg |
| Carmex 7 pies. | 0.000 | Pza |
| Mecha Rápida 2-18 | 0.000 | m |
| Pentacord 5P (amarre de Fanel) | 57.000 | m |
| Pentacord 10P (taladro cargado) | 126.000 | m |
| Fanel LP 1 al 16 de 4.2m | 9.000 | Pza |
| Fanel LP 1 al 16 de 15m | 9.000 | Pza |

**DISEÑO DE CARGUIO NEGATIVO**

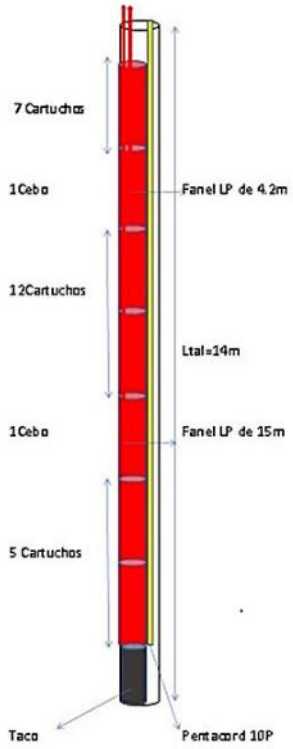
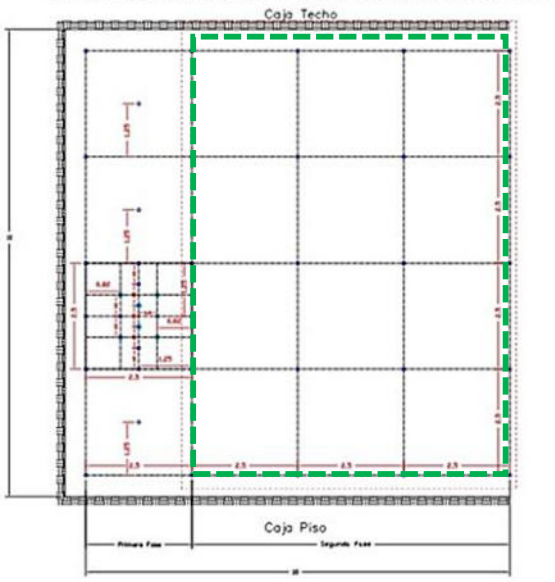



***Figura 35*** *Diseño de carguío de zanja con diámetro de 76mm.*
Fuente: Elaboración Propia.

**SARC T.L. CON BROCA DE 76 MM (CARGUIO DE TALADROS EN NEGATIVO)**

**MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA DE T.L. CON BROCA 76MM Y ROCA TIPO III RMR(41 - 50)**

Malla de Perforacion con Equipo SIMBA para diametro de Broca de 76mm




| PARAMETROS | CANT. | UNIDADES. |
|---|---|---|
| Ancho de Minado | 11.00 | m |
| Longitud de Minado | 7.50 | m |
| Burden | 2.50 | Tal |
| Espaciamiento | 2.50 | Tal |
| Nro taladros cargados de 76 mm | 12.00 | Tal |
| Nro taladros cargados de 64 mm | 3.00 | Tal |
| Long. de taladro | 14.00 | m |
| Long. de taladro cargado | 12.50 | m |
| Peso especifico del mineral | 2.51 | T/m3 |
| Volumen roto | 1155.00 | m3 |
| Tonelaje roto | 2899.05 | T |
| Cart./tal. (E-3000 2 "x24 ") | 0.00 | Pzas |
| Cart./tal. (E-3000 2 "x24 ") | 25.00 | Pzas |
| Cart./tal. (E-3000 1 1/2 "x24 ") | 0.00 | Pzas |
| Cart./tal. (E-1000 1 1/2 "x24 ") | 25.00 | Pzas |
| Total Cartuchos Explosivos 2" | 300.00 | Pzas |
| Total Cartuchos Explosivos 1 1/2" | 75.00 | Pzas |
| Peso / Cartucho (E-5000 2 "x24 ") | 1.36 | Kg |
| Peso / Cartucho (E-3000 2 "x24 ") | 1.39 | Kg |
| Peso / Cartucho (E-3000 1 1/2 "x24 ") | 0.74 | Kg |
| Peso / Cartucho (E-1000 1 1/2 "x24 ") | 0.69 | Kg |
| Kg. Explosivo / Taladro 76 mm | 34.72 | Kg/Tal |
| Kg. Explosivo / Taladro 64 mm | 17.36 | Kg/Tal |
| Kg. Explosivo Total | 468.75 | Kg |
| **RENDIMIENTOS** | | |
| Factor de Potencia | 0.16 | Kg/T |
| Factor de Carga | 0.41 | Kg/m3 |
| Factor de Avance | 33.43 | Kg/m |
| Tonelada/ taladro | 241.59 | T/tal |
| Tonelada/metro perforado | 17.26 | T/m |
| Toneladas/m2 | 35.14 | T/m2 |
| **EXPLOSIVOS** | | |
| Emulnor 5000 2"x24 " | 0.000 | Kg |
| Emulnor 3000 2"x24 " | 416.667 | Kg |
| Emulnor 3000 1 1/2"x 24 " | 0.0 | Kg |
| Emulnor 1000 1 1/2"x 24 " | 52.1 | Kg |
| Carmex 7 pies. | 0.000 | Pza |
| Mecha Rápida Z-18 | 0.000 | m |
| Pentacord 5P (amarre de Fanel) | 167.000 | m |
| Pentacord 10P (taladro cargado) | 210.000 | m |
| Fanel Ms 1 a 120 de 4.2m | 15.000 | Pza |
| Fanel Ms 1 a 120 de 15 m | 15.000 | Pza |

**DISEÑO DE CARGUIO NEGATIVO**

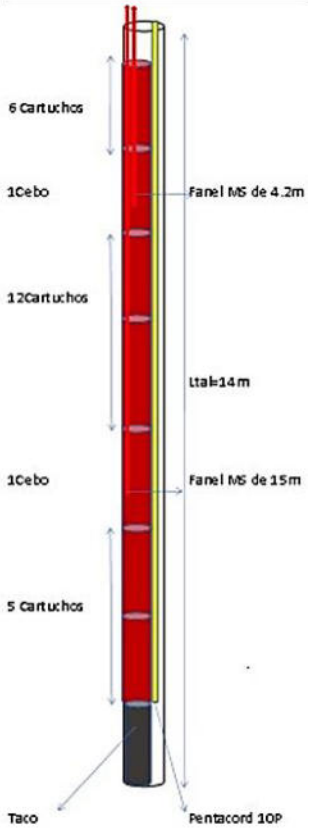



***Figura 36*** *Diseño de carguío de filas con diámetro de 76mm.*
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 6

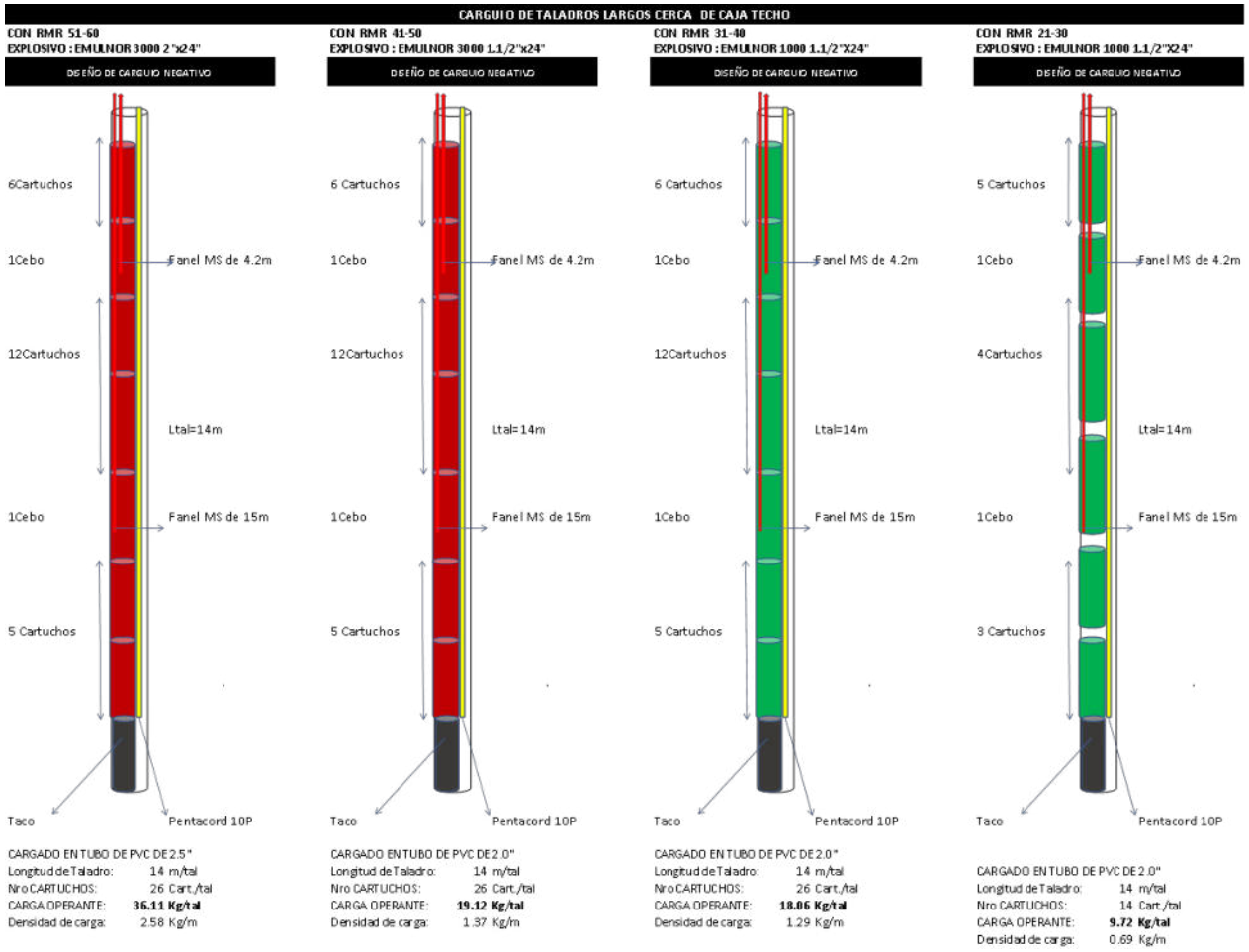



***Figura 37*** *Diseño de carga para el control de caja techo.*
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 7

| Código | Descripción | Unidad | Precio Inicial | Ene Real | Feb Real | Mar Real | Abr Real | May Real | Jun Real | Jul Real | Ago Real | Sep Real | Oct Real | Nov Real | Dic Real | Pond 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Explosivos y Accesorios** | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-01139 | EMULSION ENCARTUCHADA 1000 1-1/2X24" | $/kg | | | 1.24 | 1.25 | | 1.23 | 1.24 | 1.24 | 1.25 | 1.24 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.24 |
| 901-01029 | EMULSION ENCARTUCHADA 3000 1-1/2X24" | $/kg | 1.77 | 1.77 | 1.79 | 1.80 | 1.80 | 1.78 | 1.79 | 1.80 | 1.80 | 1.79 | 1.79 | 1.80 | 1.81 | 1.80 |
| 901-01142 | EMULSION ENCARTUCHADA 3000 2-1/4"X24" | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-01098 | EMULSION ENCARTUCHADA 5000 1-1/2X24" | $/kg | 1.79 | 1.79 | 1.81 | 1.81 | 1.80 | 1.68 | 1.71 | 1.71 | 1.70 | 1.69 | 1.70 | 1.70 | 1.71 | 1.72 |
| 901-01188 | EMULSION ENCARTUCHADA 3000 2X24" | $/kg | 1.70 | 1.70 | 1.71 | 1.72 | 1.72 | 1.70 | 1.71 | 1.72 | 1.72 | 1.66 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.67 |
| 901-01198 | EMULSION ENCARTUCHADA 5000 2X24" | $/kg | 1.81 | 1.81 | 1.81 | 1.82 | 1.79 | 1.66 | 1.68 | 1.68 | 1.68 | 1.66 | 1.67 | 1.68 | 1.69 | 1.70 |
| 901-01119 | FANEL 12M 1 AL 15 PERIODO LARGO | $/pza | 2.33 | 2.33 | 2.36 | 2.37 | 2.36 | 2.34 | 2.36 | 2.14 | 2.14 | 2.01 | 2.00 | 1.96 | 1.90 | 2.13 |
| 901-01118 | FANEL 15M 1 AL 15 PERIODO LARGO | $/pza | 2.69 | 2.69 | 2.72 | 2.73 | 2.72 | 2.69 | 2.72 | 2.72 | 2.73 | 2.43 | 2.39 | 2.40 | 2.34 | 2.54 |
| 901-00929 | FANEL 18M 1 AL 15 PERIODO LARGO | $/pza | 3.43 | 3.43 | 3.46 | 3.47 | 3.47 | 3.43 | 3.46 | 3.47 | 3.48 | 3.45 | 3.47 | 3.49 | 3.50 | 3.47 |
| 901-01110 | FANEL PERIODO CORTO DE 12 MTS | $/pza | 2.51 | 2.51 | | 2.54 | 2.54 | 2.51 | 2.53 | 2.54 | 2.54 | 2.51 | 2.51 | 2.53 | 2.54 | 2.53 |
| 901-01109 | FANEL PERIODO CORTO DE 15 MTS | $/pza | 2.75 | 2.75 | | 2.79 | 2.79 | 2.75 | 2.78 | 2.79 | 2.79 | 2.77 | 2.78 | 2.80 | 2.81 | 2.78 |
| 901-01108 | FANEL PERIODO CORTO DE 18 MTS | $/pza | 3.53 | 3.53 | | 3.58 | 3.58 | 3.53 | 3.57 | 3.57 | 3.58 | 3.55 | 3.57 | 3.59 | 3.61 | 3.57 |
| 901-01208 | CORDON DETONANTE10P 10GR/M | $/m | 0.28 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.27 |
| 901-00648 | EMULSION ENCARTUCHADA 1000 1-1/4X12" | $/kg | 1.59 | 1.59 | 1.59 | 1.59 | 1.57 | 1.50 | 1.48 | 1.48 | 1.48 | 1.46 | 1.47 | 1.48 | 1.48 | 1.50 |
| 901-00963 | EMULSION ENCARTUCHADA 3000 1-1/4X12" | $/kg | 1.72 | 1.72 | 1.73 | 1.72 | 1.70 | 1.64 | 1.63 | 1.61 | 1.61 | 1.59 | 1.59 | 1.60 | 1.61 | 1.63 |
| 901-00971 | EMULSION ENCARTUCHADA 5000 1-1/2X12" | $/kg | | | | | 1.91 | 1.88 | | | | | | | | 1.89 |
| 901-00037 | FANEL BLANCO 1 A 16 PERIODO LARGO | $/pza | 1.08 | 1.08 | 1.09 | 1.08 | 1.04 | 1.01 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.01 |
| 901-00035 | FANEL ROJO 1 A 20 PERIODO CORTO | $/pza | 1.06 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.06 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.03 | 1.04 | 1.04 | 1.04 |
| 901-00961 | CARMEX 7" CAJAX300PZA C/CONECTOR | $/pza | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.56 | 0.53 | 0.53 | 0.54 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.54 | 0.55 |
| 901-00959 | CORDON DETONANTE 3P=3G=3N CJAX1500M | $/m | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.19 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.17 |
| 901-00276 | CORDON DETONANTE 5P 5GR/M | $/m | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.21 | 0.21 |
| 901-00042 | GUIA RAPIDA IGNICION TIPO MEDIO Z18 | $/m | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.37 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.36 | 0.35 | 0.35 | 0.36 | 0.37 |
| 901-01168 | EMULSION ENCARTUCHADA 3000 1X16" | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-01169 | EMULSION ENCARTUCHADA 1000 1X16" | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-01180 | EMULSION ENCARTUCHADA 500 1X16" | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-01191 | FANEL BLANCO 3.0 METROS PERIODO LARGO | $/pza | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-00100 | ANFO AGRANEL | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |
| 901-00546 | EMULSION AGRANEL | $/kg | | | | | | | | | | | | | | |

***Figura 38*** *Costo de Explosivos y accesorios.*
Fuente: U.M. Inmaculada.

ANEXO 8

| Apariencia del macizo rocoso | Descripción del macizo rocoso | Valor D sugerido |
|---|---|---|
|  | Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel | D=0 |
|  | Excavación mecánica o manual en macizos rocoso de mala calidad (sin voladura) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.<br>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance. La alteración puede ser severa a menos que se coloquen en una contrabobeda temporal, tal como se muestra en la figura | D=0<br><br>D=0.5<br>No invert |
|  | Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3cm en el macizo rocoso circundante | D=0.8 |
|  | Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo, la liberación de tensión resulta en alguna alteración. | D=0.7<br>Good blasting<br>D=1.0<br>Poor blasting |
|  | Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.<br>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor. | D=1.0<br>Production blasting<br>D=0.7<br>Mechanical excavacion |

***Figura 39*** *Criterio para Estimar el factor de perturbación D.*
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 9

| U.M. INMACULADA | "LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI" | | | U.M. INMACULADA |
|---|---|---|---|---|
| | ESTÁNDAR: PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS | | | |
| | FECHA DE EMISIÓN: 01/01/2016 | FECHA DE REVISIÓN: 01/01/2018 | INE-MIN09-02 | |

1. **OBJETIVO:**
   - Normar la perforación con el equipo T1D / SIMBA en el método de explotación taladros largos, para alcanzar un trabajo con calidad, seguridad y eficiencia.

2. **ALCANCE:**
   - Personal involucrado en las labores de perforación de taladros largos.

3. **REFERENCIA LEGALES Y OTRAS NORMAS:**
   - Ley 29783 de seguridad y salud en el trabajo y su reglamento D.S. 005-2012-TR.
   - R.S.S.O. – D.S. 024 – 2016 E.M. Art. 232, 234, 236, 243.
   - Política de Seguridad, Salud Ocupacional.
   - Sistema de Gestión de Riesgos HM (DNV-GL) 15 Procesos
   - 12 reglas de Oro.
   - Norma OHSAS 18001:207 – Requisito N° 4.4.6.
   - Norma ISO 14001:2004 – Requisito N° 4.4.6.

4. **DEFINICION DE CONCEPTOS IMPORTANTES:**
   - **4.1 Estándar:** Son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Indica la forma correcta de hacer las cosas.
   - **4.2 Peligro:** Fuente, situación o acto con potencial para causar daño en términos de daño humano o deterioro de la salud o una combinación de éstos.
   - **4.3 Procedimiento:** Documento que contiene la descripción especifica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos.
   - **4.4 Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición.

5. **REQUISITOS / ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR:**
   - **5.1.** Cumplir con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (D.S 024-2016-EM, artículos: 232, 234, 236, 243).
   - **5.2.** Para el diseño de la malla de perforación se debe contar con el levantamiento actual del tajo, del nivel superior e inferior.
   - **5.3.** El personal de geomecánica debe entregar el mapeo geomecánico donde se debe indicar el RMR de labor al responsable de planeamiento a fin de diseñar la malla de perforación.
   - **5.4.** Para el diseño de malla se tendrá en cuenta el equipo de perforación que va a ejecutar los taladros (T1D o SIMBA), se debe tomar en cuenta las dimensiones del equipo de perforación.
   - **5.5.** La altura de perforación debe estar acorde al Equipo que va a ejecutar la perforación siendo estos: Para T1D = 4 metros, Para SIMBA = 4 metros, etc.
   - **5.6.** La altura de corte óptimo está en función al resultado del estudio Geológico-Geomecanico.
   - **5.7.** El área de Geomecanica realizara la evaluación de la labor a perforar y determinara el tipo de sostenimiento a instalar.

**5.8.** La perforación se iniciará luego de una inspección por parte de mina, seguridad, Geomecanica, donde liberan el área para dar inicio a la perforación.

**5.9.** La perforación con SIMBA se realizara en avanzada para que el operador no esté debajo de zona perforada.
**5.10.** La perforación con T1D se realizara en retirada.
**5.11.** Se colocará bloqueo (soga con letrero de prohibición) de restricción a una distancia de 5 metros del área a perforar.
**5.12.** Las mordazas de los Equipos de perforación deben tener un programa de mantenimiento preventivo tal que garanticen una fijación y alineamiento óptimo para evitar desviaciones.
**5.13.** Las labores de perforación de taladros largos deberán contar con perchero con dos juegos de barretillas de cuatro medidas diferentes, panel informativo, porta tubos, porta barras, escalera.
**5.14.** Las labores de perforación de taladros largos deberán estar iluminadas y ventiladas instalando manga de ventilación a 15 metros del tope, en forma adecuada tanto en la partida como en la llegada.
**5.15.** El área de topografía debe entregar el levantamiento de los taladros perforados antes del disparo.
**5.16.** Las perforaciones en zonas con presencia de vacíos se considerara el estándar de trabajos de altura y la ejecución del PETAR.
**5.17.** Se colocara cables línea de anclaje acerado de ½", sujetados con grampas grosbys, necesario para realizar el carguío de taladros y el anclaje del personal.

## 6. RESPONSABILIDADES:

**6.1** Superintendente de Planeamiento: Responsable de entregar el diseño y planos correspondientes de acuerdo a los requisitos señalados en este estándar.
**6.2** El Superintendente de área, Jefes de área, Supervisores de Primera Línea establecerán controles para asegurar el cumplimiento del estándar en salvaguarda de la seguridad de los trabajadores. Serán minuciosos en sus observaciones.
**6.3** Los trabajadores son responsables de demostrar compromiso con el cumplimiento del estándar.

## 7. ENTRENAMIENTO Y CONOCIMIENTO:

**7.1** El Superintendente de área, Jefes de área, Supervisores de Primera Línea, impartirán las capacitaciones y entrenamientos en el presente estándar.

## 8. CONTROLES, REGISTROS Y DOCUMENTACION:

**8.1** Check List de labor.
**8.2** IPERC continúo.
**8.3** Diseño de malla de perforación.
**8.4** Autorización interna para trabajos en altura.
**8.5** Autorización interna para operación de equipos.
**8.6** Orden de trabajo.
**8.7** Check List de equipo.

## 9. FRECUENCIA DE AUDITORIAS / INSPECCIONES:

**9.1** Check List de labor – Diario.
**9.2** Verificación de desviación de taladros – Diario.

| U.M. INMACULADA | "LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI" | | U.M. INMACULADA |
|---|---|---|---|
| | ESTÁNDAR: PERFORACIÓN DE TALADROS LARGOS | | |
| | FECHA DE EMISIÓN: 01/01/2016 | FECHA DE REVISIÓN: 01/01/2018 | INE-MIN09-02 |

**9.3** Check List de arnés.
**9.4** Check List de escalera portátil.

**10.EQUIPO DE TRABAJO:**

**10.1** Cargador de taladros largos.
**10.2** Operador y Ayudante de SIMBA / T1D.

**11.REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO:**

- Las revisiones se harán en forma anual y/o cuando se produzcan, cambios significativos en las operaciones y/o en la legislación.

| FECHA | DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION | MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO | VERSION |
|---|---|---|---|
| 15/12/17 | Sistema de Gestión de Riesgos HM (DNV-GL) 15 Procesos<br>12 reglas de Oro.<br>Para el diseño de la malla de perforación se debe contar con el levantamiento actual del tajo, del nivel superior e inferior.<br>Se debe tomar en cuenta las dimensiones del equipo de perforación.<br>Se colocara cables línea de anclaje acerado de ½", sujetados con grampas grosbys, necesario para realizar el carguío de taladros. | Revisión anual | 01 |
| | | | |

***Figura 40*** *Estándar de perforación de Taladros Largos.*
Fuente: U.M. Inmaculada.

ANEXO 10

| U.M. INMACULADA | "LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI" | | | U.M. INMACULADA |
|---|---|---|---|---|
| | ESTÁNDAR: CARGUIO EN TAJEOS DE TALADROS LARGOS | | | |
| | FECHA DE EMISIÓN: 01/01/2016 | FECHA DE REVISIÓN: 01/01/2018 | INE-MIN09-05 | |

**1. OBJETIVO:**

- Normar el carguío de taladros largos con la finalidad de obtener óptimos resultados de la voladura en taladros largos, con un apropiado diseño de malla y excelente fragmentación.

**2. ALCANCE:**

- Personal involucrado en las labores de perforación y voladura de taladros largos.

**3. REFERENCIA LEGALES Y OTRAS NORMAS:**

4. Ley 29783 de seguridad y salud en el trabajo y su reglamento D.S. 005-2012-TR
5. R.S.S.O. – D.S. 024 – 2016 E.M.
6. Política de Seguridad, Salud Ocupacional.
7. Sistema de Gestión de Riesgos HM (DNV-GL) 15 Procesos
8. 12 reglas de Oro.
9. Norma OHSAS 18001:2007 – Requisito N°. 4.4.6.
10. Norma ISO 14001:2004 – Requisito N°. 4.4.6.

**11.DEFINICION DE CONCEPTOS IMPORTANTES:**

**4.1 Estándar:** Son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Indica la forma correcta de hacer las cosas.

**4.2 Peligro:** Fuente, situación o acto con potencial para causar daño en términos de daño humano o deterioro de la salud o una combinación de éstos.

**4.3 Procedimiento:** Documento que contiene la descripción especifica de la forma cómo llevar a cabo o desarrollar una tarea de manera correcta desde el comienzo hasta el final, dividida en un conjunto de pasos consecutivos o sistemáticos. Resuelve la pregunta: ¿Cómo hacer el trabajo / tarea de manera correcta?

**4.4 Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud que puede causar el suceso o exposición.

**4.5 Cebo:** Es un tipo de iniciador, compuesto por un explosivo con un fulminante conectado a un tipo de mecha.

**4.6 Cordón Detonante:** Es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión.

**4.7 Explosivos:** Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.

**4.8 Fulminante común:** Es una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad.

**12.REQUISITOS / ESPECIFICACIONES DEL ESTÁNDAR:**

**5.1.** Cumplir con el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional (Decreto Supremo 024-2016-EM, artículos: 288, 289.).

**5.2.** El personal debe usar correctamente su EPP, contar con su examen de suficiencia medica para realizar trabajos en altura y licencia de manipuleo de explosivos vigente emitida por la SUCAMEC.

**5.3.** Se debe evitar el excesivo daño de la caja techo para una mayor estabilidad (realizar voladura controlada).

**5.4.** En la excavación de mina se utiliza normalmente los explosivos y la posibilidad de generarse una sobre rotura es bastante alta porque depende de muchos factores:

a. Terreno muy fallado y fracturado.
b. El diámetro de los taladros.
c. El tipo de explosivo utilizado.
d. Tipo de iniciador utilizado.
e. Longitud y paralelismo de taladros.
f. Presencia de agua.
g. La malla de perforación.
h. Confinamiento de los explosivos dentro del taladro.
i. Secuencia de salida taladros.
j. Humedad en la zona de perforación y voladura.

**5.5.** En cada lugar de trabajo se debe contar con el Plano Geomecánico que indica el tipo de terreno en el que se está trabajando.

**5.6.** Se debe contar con el plano de perforación y el plano de levantamiento de taladros de perforación

**5.7.** Se debe contar con iluminación en la zona de trabajo.

**5.8.** Para los taladros de rotura se debe de usar sacos de yute o tacos de madera y/o tacos de pvc para controlar la carga granular.

**5.9.** Se debe contar con punzón de cobre para poder realizar el encebado.

**5.10.** Se debe usar emulsión 1000, 3000 o 5000 de acuerdo a la distribución de cargas, secuencia de faneles, dimensiones del tajeo y tipo de roca.

**5.11.** El encebado no se realizara si aun existe equipos en la labor a cargar.

**5.12.** Para el carguío del slot o cara libre se realizara en dos tiempos para garantizar que el disparo cuente con suficiente cara libre.

**5.13.** Para realizar el carguío de la primera fila expuesta a espacio abierto se realizara un PETAR y el cumplimiento al estándar de trabajos en altura.

## 13.RESPONSABILIDADES:

**6.1** El Superintendente de área, Jefes de área, Supervisores de Primera Línea establecerán controles para asegurar el cumplimiento del estándar en salvaguarda de la seguridad de los trabajadores. Serán minuciosos en sus observaciones.

**6.2** Los trabajadores son responsables de demostrar compromiso con el cumplimiento del estándar.

## 14. ENTRENAMIENTO Y CONOCIMIENTO:

**7.1** El Superintendente de área, Jefes de área, Supervisores de Primera Linea, impartirán las capacitaciones y entrenamientos en el presente estándar.

## 15.CONTROLES, REGISTROS Y DOCUMENTACION:

**8.1** Check List de labor.

**8.2** IPERC continúo.

**8.3** Estándares de malla de perforación y orden de encendido en disparos.

## 16.FRECUENCIA DE AUDITORIAS / INSPECCIONES:

**9.1** Check List de labor – Diario.

| U.M. INMACULADA | "LA SEGURIDAD EMPIEZA POR MI" | | | U.M. INMACULADA |
|---|---|---|---|---|
| | ESTÁNDAR: CARGUIO EN TAJEOS DE TALADROS LARGOS | | | |
| | FECHA DE EMISIÓN: 01/01/2016 | FECHA DE REVISIÓN: 01/01/2018 | INE-MIN09-05 | |

**17.EQUIPO DE TRABAJO:**

**10.1** Trabajadores de mina.

**18.REVISION Y MEJORAMIENTO CONTINUO:**

- Las revisiones se harán en forma anual y/o cuando se produzcan, cambios significativos en las operaciones y/o en la legislación.

| FECHA | DESCRIPCION DEL CAMBIO O REVISION | MOTIVO/RESPONSABLE DEL CAMBIO | VERSION |
|---|---|---|---|
| 30/12/17 | Sistema de Gestión de Riesgos HM (DNV-GL) 15 Procesos<br>12 reglas de Oro. | Revisión Anual | 1 |
| | | | |

***Figura 41*** *Estándar de Carguío en Tajeos de Taladros Largos.*
Fuente: U.M. Inmaculada.