

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

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



**TESIS**

**Reducción de vibraciones en el Municipio de Santo Domingo con la  
aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 Mina**

**Jabalí**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor: Bach. Josué Víctor OLLERO SANCHEZ**

**Asesor: Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO**

**Cerro de Pasco –Perú – 2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

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



**TESIS**

**Reducción de vibraciones en el Municipio de Santo Domingo con la  
aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 Mina**

**Jabalí**

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

---

Mg. Teodoro Rodrigo SANTIAGO ALMERCO  
PRESIDENTE

---

Mg. Nieves Oswaldo GORA TUFINO  
MIEMBRO

---

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA  
MIEMBRO

**DEDICATORIA**

A Dios y a mis padres por su apoyo incondicional.

## **RECONOCIMIENTO**

A Dios, por permitirme existir y vivir un sinnúmero de experiencias que contribuyeron al desarrollo de mi personalidad y vida profesional.

A todas aquellas personas con las que he compartido un espacio de trabajo, en las que inicié en este rubro tan desafiante y apasionante.

A todos ustedes mi mayor reconocimiento y gratitud.

## RESUMEN

En el presente trabajo se ha analizado los niveles de vibraciones en los puntos estratégicos cercanos a la operación en el municipio de Santo Domingo y a partir del cual se ha propuesto un nuevo diseño de voladura para reducir dichos niveles a números aceptables según las normas internacionales. La voladura representa una de las operaciones unitarias de mayor relevancia en todo el ciclo de minado, por ende, el objetivo final es estudiar los niveles de vibraciones para determinar el diseño óptimo de voladura en el tajo 333-311 en la Unidad Jabalí de Compañía Minera Calibre Mining - Nicaragua, de tal modo que sea mínimo la perturbación en las cercanías del municipio de Santo Domingo. Para tal efecto, se realizará la medición de los niveles de velocidad de partículas que es generado por la detonación de un nuevo modelo carga explosiva y a la vez distribuidos en un nuevo diseño de distribución de taladros, este será una forma a través del cual es posible conocer su eficiencia relativa, el resultado en términos de fragmentación del macizo rocoso y la velocidad pico partícula en superficie definirá el rendimiento general del diseño. Se describe en este trabajo la aplicación de la técnica de monitoreo de vibraciones particularmente en la Unidad Operativa Jabalí y su importancia en el diagnóstico, control, modelamiento y optimización del proceso de la voladura. Se analiza su potencial en términos de reducción de daño en superficie con el fin de mantener buenas relaciones con la población santo dominguéense, aumentar los rendimientos de producción y minimizar los costos operacionales en conjunto en esta etapa de la explotación, en lo posterior validar el nuevo diseño de voladura óptimo en el tajo 333-311 en la Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining, el objetivo es alcanzado como se demuestra en el presente estudio.

**Palabras clave:** Reducción de vibraciones; diseño de voladura, velocidad pico partícula.

## SUMMARY

In this work, the vibration levels at the strategic points close to the operation in the municipality of Santo Domingo have been analyzed and from which a new blasting design has been proposed to reduce said levels to acceptable numbers according to international standards.

Blasting represents one of the most relevant unit operations in the entire mining cycle.

The final objective is to study the levels of vibrations to determine

the optimal blasting design in pit 333-311 in the Jabalí Unit of Company Minera Calibre Mining - Nicaragua, so that disturbance in the vicinity of the municipality of Santo Domingo is minimal. For this purpose, the measurement of the levels of particle velocity that is generated by the detonation of a new explosive charge model will be carried out and at the same time distributed in a new design of distribution of drills, this will be a way through which it is possible knowing its relative efficiency, the result in terms of fragmentation of the rock mass and the particle velocity peak at the surface will define the overall performance of the design.

This application describes the application of the vibration monitoring technique, particularly in the Boar Operating Unit, and its importance in the diagnosis, control, modeling, and optimization of the blasting process. Its potential is analyzed in terms of reduction of surface damage in order to maintain good relations with the Santo Domingo population, increase production yields and minimize overall operational costs at this stage of exploitation, subsequently validating the new optimal blasting design in pit 333-311 at the Jabalí Operating Unit - Company Minera Calibre Mining, the objective is achieved as demonstrated in this study.

**Keywords:** Vibration reduction; blasting design, particle peak speed.

## INTRODUCCION

Calibre Mining Corp. es una minera canadiense, cuyo accionista controlador en un inicio fue el productor de oro B2Gold Corp. Fue incorporada en 1969 para la adquisición, exploración y desarrollo de yacimientos de metales base y preciosos en Nicaragua. Posee y explora los proyectos oro-plata-cobre Santa Maria, Primavera y Monte Carmelo, como parte de las Concesiones de Borosi, emplazadas en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte, Nicaragua. En la misma región, la empresa también posee los distritos Rosita y Carpatos, así como la Concesión El Peste. Además, opera en sociedad el Proyecto Borosi Oriental. Tiene su sede en Vancouver.

El 2 de julio de 2019, Calibre realizó una transacción con B2Gold Corp. (B2Gold) mediante la cual adquiriría las minas de oro productoras La Libertad y El Limón, así como el proyecto de oro Pavón y otras concesiones minerales en Nicaragua en poder de B2Gold por una contraprestación total de \$ 100 millones. Tras la finalización de la transacción, B2Gold tiene una participación aproximada del 30% en el capital directo de Calibre.

La mina La Libertad es una operación a cielo abierto y subterránea que utiliza métodos convencionales a cielo abierto en los tajos de San Juan y San Diego y un método de bench&fill ascendente con perforación de taladros largos y relleno detrítico en la mina subterránea Jabalí.

Uno de los mayores costos de las operaciones unitarias viene a ser la perforación y voladura de rocas, por lo cual se es indispensable la optimización utilizando las técnicas modernas de voladura de rocas.

La presente tesis tiene por objetivo contribuir al desarrollo de los conocimientos actuales en Voladura de Rocas y su aplicabilidad en las Operaciones Mineras. La tesis está orientada a la reducción del nivel de vibraciones con la aplicación de un nuevo diseño de

voladura que se enfoca básicamente en la modificación del burden y espaciamiento, así como también en la carga operante. Esto se realiza usando el monitoreo, diseño de carga y análisis de vibraciones.

#### DESCRIPCIÓN DE CAPÍTULOS

Para el desarrollo de la presente tesis he considerado (cuatro) 4 capítulos, siendo los siguientes:

- El capítulo uno, trata sobre el problema de investigación, delimitación, formulación de: problemas generales y específico, objetivos; justificación, importancia y alcances de la investigación y limitaciones.

Además, trata sobre los aspectos generales de la mina; ubicación y accesibilidad de la mina, historia, geología, métodos de explotación y plan de minado.

- El capítulo dos, trata sobre el marco teórico que comprende antecedentes, bases teóricas-científicas, definición de términos, sistemas de hipótesis e identificación de variables.

- El capítulo tres, trata sobre la metodología y técnicas de investigación que comprende: tipo de investigación, diseño de investigación, población y muestra, métodos de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

- El capítulo cuatro, se muestra los resultados y discusión obtenidos en superficie caso de estudio validación del nuevo diseño de voladura óptimo, aquí presentamos los resultados de las pruebas y discusión de resultados.

- Para concluir la tesis se presentan las conclusiones y recomendaciones y la bibliografía correspondiente.

Lo cual pongo a consideración de mis jurados calificadores para su evaluación correspondiente.

## INDICE

**DEDICATORIA**

**RECONOCIMIENTO**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCION**

**INDICE**

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y Determinación del Problema .....	1
1.2.	Delimitación de la Investigación.....	1
1.2.1.	Generalidades de la Mina .....	2
1.2.1.1.	Ubicación y Accesibilidad .....	2
1.2.1.2.	Antecedentes históricos.....	5
1.2.1.3.	Geología Local de la Mina.....	6
1.2.1.4.	Geología Regional .....	7
1.2.1.5.	Geología estructural.....	8
1.2.1.6.	Geología económica .....	10
1.2.1.7.	Estimación de Recursos .....	10
1.2.1.8.	Geomecánica .....	12
1.2.1.9.	Hidrogeología e Hidrología .....	13
1.2.1.10.	Método de Explotación .....	15
1.2.1.11.	Dimensionamiento del Método .....	18
1.2.1.12.	Diseño de Explotación .....	21
1.2.1.13.	Rampas Principales .....	23
1.2.1.14.	Cruceros, Bypass y Galerías.....	24
1.3.	Formulación del Problema.....	27
1.3.1.	Problema Principal .....	27
1.3.2.	Problemas Específicos .....	27
1.4.	Formulación de Objetivos.....	28
1.4.1.	Objetivo General .....	28

1.4.2. Objetivos Específicos .....	28
1.4. Justificación de la Investigación .....	28
1.5. Limitaciones de la Investigación.....	29

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio .....	30
2.1.1. Internacionales .....	30
2.1.2. Nacionales .....	32
2.2. Bases Teóricas – Científicas.....	34
2.2.1. Fundamentos de Vibraciones .....	34
2.2.2. Control de Vibraciones .....	36
3.2.3. Normativas Internacionales .....	40
3.2.4. Variables de la Geometría del Disparo .....	41
2.3. Definición de Términos Básicos .....	42
2.4. Formulación de Hipótesis .....	43
2.4.1. Hipótesis General .....	43
2.4.2. Hipótesis Específicas .....	43
2.5. Identificación de Variables.....	44
2.5.1. Variable Independiente .....	44
2.5.2. Variable dependiente .....	44
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	45

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación .....	46
3.2. Métodos de Investigación .....	46
3.3. Diseño de la investigación .....	47
3.4. Población y muestra .....	48
3.4.1 Población .....	48
3.4.2. Muestra .....	48
3.4.2.1. Cálculo del Número de Muestra.....	48
3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	49
3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos .....	50
3.7. Tratamiento Estadístico.....	50
3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación .	50

3.9. Orientación ética .....	51
------------------------------	----

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del Trabajo de Campo .....	53
4.1.1. Estudio de los Niveles de Vibración .....	53
4.1.2. Trabajos de monitoreo .....	54
4.1.2.1. Ubicación del equipo .....	54
4.1.2.2. Instalación del Geófono .....	55
4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados .....	55
4.2.1. Presentación de los Datos de Campo .....	55
4.2.1.1. Diseño Convencional.....	55
4.2.2. Análisis e Interpretación de Resultados .....	73
4.3. Prueba de Hipótesis .....	78
4.3.1. Hipótesis General .....	78
4.3.2. Hipótesis Específica .....	79
4.4. Discusión de resultados.....	80

## **CONCLUSIONES**

## **RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## Índice de Tablas

Tabla N° 1: Estimación de Recursos.....	11
Tabla N° 2: Cálculo de la ley de corte. ....	21
Tabla N° 3: Definición operacional de variables. ....	45
Tabla N° 4: Distribución de taladros diseño inicial tajo 333-311.....	56
Tabla N° 5: Distribución de explosivos diseño inicial tajo 333-311. ....	56
Tabla N° 6: Distribución de explosivos en fila 01 - tajo 333-311. ....	58
Tabla N° 7: Distribución de explosivos en fila 02 - tajo 333-311. ....	58
Tabla N° 8: Distribución de explosivos en fila 03 - tajo 333-311. ....	60
Tabla N° 9: Distribución de explosivos en fila 04 - tajo 333-311. ....	60
Tabla N° 10: Distribución de explosivos en fila 05 - tajo 333-311. ....	61
Tabla N° 11: Distribución de explosivos en fila 14 - tajo 333-311. ....	63
Tabla N° 12: Distribución de explosivos en fila 15 - tajo 333-311. ....	64
Tabla N° 13: Distribución de explosivos en fila 16 - tajo 333-311. ....	66
Tabla N° 14: Distribución de explosivos en fila 17 y fila 17A - tajo 333-311. ....	68
Tabla N° 15: Distribución de explosivos en fila 18 y fila 18A - tajo 333-311. ....	71
Tabla N° 16: Distribución de explosivos en fila 19 y fila 19A - tajo 333-311. ....	73
Tabla N° 17: Resultados de monitoreo de diseño inicial - tajo 333-311. ....	74
Tabla N° 18: Resultados de monitoreo del nuevo diseño de voladura - tajo 333-311.....	74

## Índice de Figuras

Figura N° 1: Ubicación Regional de la Mina Jabalí .....	2
Figura N° 2: Acceso a la Mina Jabalí .....	4
Figura N° 3: Ubicación Proyecto Mina Jabalí .....	4
Figura N° 4: Geología Regional de la Zona .....	8
Figura N° 5: Geología Estructural .....	10
Figura N° 6: Comportamiento del flujo de agua durante la explotación .....	14
Figura N° 7: Vista en planta del método de minado para explotación de mineral remanente en la caja piso .....	17
Figura N° 8: Vista transversal del método de minado para explotación de mineral remanente en la caja piso .....	17
Figura N° 9: Vista longitudinal de la malla de perforación para explotación de mineral remanente en la caja piso .....	18
Figura N° 10: Análisis de secuencia de Minado por método de elementos finitos. Distribución de factores de resistencia (SF). Imagen del informe “Inf Geomec Jabali DCR 2016” .....	19
Figura N° 11: Secuencia de Minado del Método Bench&Fill.....	19
Figura N° 12: Impacto del pilar corona en los recursos planificados .....	20
Figura N° 13: Diseño de infraestructura y preparación conceptual .....	22
Figura N° 14: Sección transversal estándar de diseño de rampas (camión CAT ADR30) .....	24
Figura N° 15: Estándar de diseño de cruceros y bypass principales (Jumbo S1D) .....	25
Figura N° 16: Estándar de diseño de cruceros de ventilación y servicios (Scoop CAT R1300) .....	25
Figura N° 17: Secuencia de minado de mineral y relleno detrítico en superficie .....	27
Figura N° 18: Ubicación de chimeneas de relleno detrítico para las zonas 2 y 3 .....	27
Figura N° 19: Diagrama Original de Perforación en el tajo 333-311 .....	54
Figura N° 20: Ubicación del equipo sismógrafo respecto al tajo 333-311. ....	54
Figura N° 21: Cálculo del burden modelo Langefors.....	55
Figura N° 22: Diseño de carguío taladros negativos fila 01 - tajo 333-311.....	57
Figura N° 23: Diseño de carguío taladros negativos fila 02 - tajo 333-311.....	58
Figura N° 24: Diseño de carguío taladros negativos fila 03 - tajo 333-311.....	59
Figura N° 25: Diseño de carguío taladros negativos fila 04 - tajo 333-311.....	60
Figura N° 26: Diseño de carguío taladros negativos fila 05 - tajo 333-311.....	61
Figura N° 27: Diseño de carguío taladros negativos fila 14 - tajo 333-311.....	63
Figura N° 28: Diseño de carguío taladros negativos fila 15 - tajo 333-311.....	64
Figura N° 29: Diseño de carguío taladros negativos fila 16 - tajo 333-311.....	66
Figura N° 30: Diseño de carguío taladros negativos fila 17 - tajo 333-311.....	67
Figura N° 31: Diseño de carguío taladros negativos fila 17A - tajo 333-311. ....	68
Figura N° 32: Diseño de carguío taladros negativos fila 18 - tajo 333-311.....	69
Figura N° 33: Diseño de carguío taladros negativos fila 18A - tajo 333-311.....	70
Figura N° 34: Diseño de carguío taladros negativos fila 19 - tajo 333-311.....	72
Figura N° 35: Diseño de carguío taladros negativos fila 19A - tajo 333-311.....	73
Figura N° 36: Registro emitido por el sismógrafo en el tajo 333-311.....	75
Figura N° 37: Corte en sección de fila 04 donde se evidencia adición de taladros para recuperar el cuerpo dejado del disparo anterior. ....	76
Figura N° 38: Burden y espaciamiento diseño inicial tajo 333-311. ....	77

Figura N° 39: Burden y espaciamento del nuevo diseño tajo 333-311..... 78

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y Determinación del Problema**

Actualmente en la unidad minera UG JABALI perteneciente a la compañía minera Calibre Mining - Nicaragua, se tiene inconvenientes con el control de las vibraciones generadas por la detonación de los tajos en explotación y en especial el tajo 333 -311, esto debido a que la ubicación del tajo mencionado están debajo del Municipio de Santo Domingo – Chontales – Nicaragua. El principal problema con el control de las vibraciones es la generación del mal estar de la población, y para responder a esto se tiene un control de monitoreo de vibraciones de todos los disparos efectuados, es ahí donde se identifica que el Tajo genera los picos más altos, entre 5 mm/s y 11 mm/s de Vector Pico Suma (VPS). Siendo el máximo permitido 5 mm/s VPS.

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

Ésta investigación se realizó en el tajo 333 – 311 de la Mina Jabalí – Compañía Minera Calibre Mining - Santo Domingo, Chontales, Nicaragua. El tiempo de

investigación es aproximadamente de 6 meses (fecha de inicio, abril 2019 – fecha de culminación, Setiembre 2019).

### 1.2.1. Generalidades de la Mina

#### 1.2.1.1. Ubicación y Accesibilidad

El Proyecto Antena forma parte de la zona Oeste del yacimiento Jabalí, el cual se halla ubicado al Sur de la Ciudad de Santo Domingo cerca a la concesión de la Libertad la cual está ubicada a 110 Km al Este de Managua, la ciudad capital de Nicaragua, en la Región de La Libertad - Santo Domingo, del Departamento de Chontales, Nicaragua Central, en las siguientes coordenadas geográficas aproximadas: 12° 13' Latitud Norte y 85° 10' Longitud Oeste.

*Figura N° 1: Ubicación Regional de la Mina Jabalí*



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

El acceso a la propiedad minera es a través de una carretera pavimentada desde Managua hasta Juigalpa (138 Km), esta última capital del Departamento de Chontales. Desde Juigalpa, se llega al poblado de La Libertad a través de una carretera afirmada haciendo un recorrido de 32 Km. El acceso al Proyecto Antena desde La Libertad es por una carretera secundaria afirmada de 10 Km. El recorrido en camioneta desde Managua a la mina es de 2.5 a 3 horas.

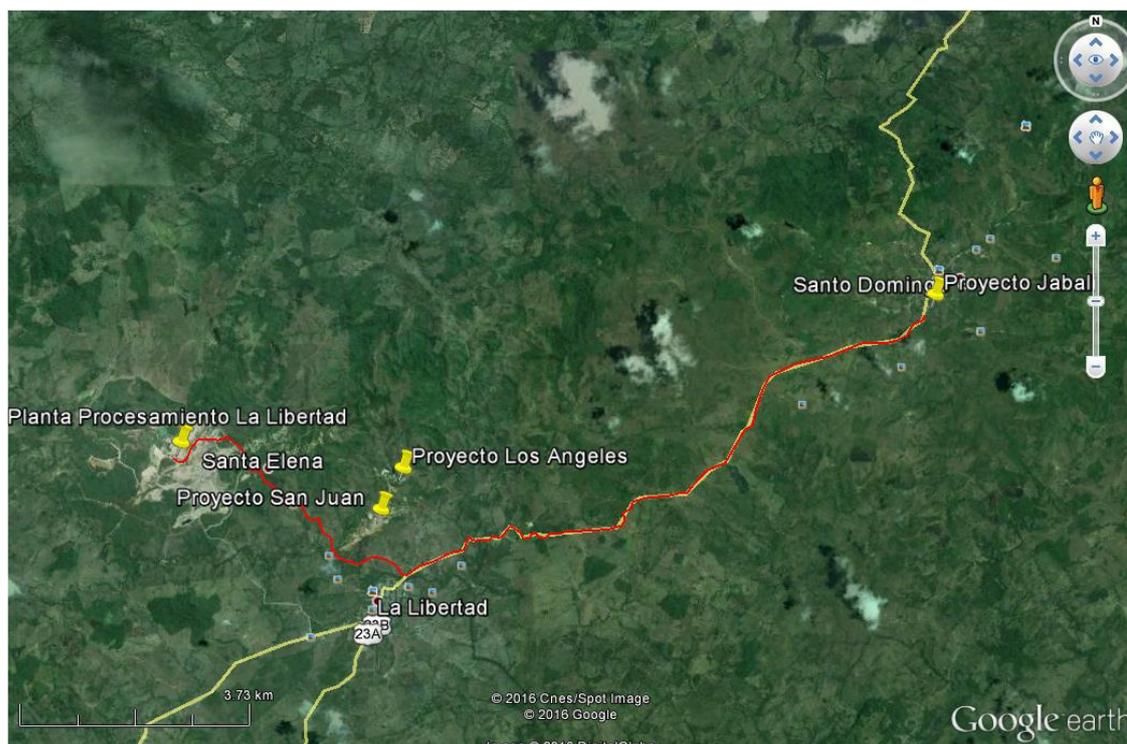
Hay dos estaciones características en la zona, la húmeda y la seca. La estación húmeda ocurre de Mayo a Noviembre, y las precipitaciones más altas se dan entre los meses de Setiembre y Octubre. La precipitación mensual promedio en estos meses es de 270 mm.

Los meses más secos ocurren generalmente entre Febrero y Marzo, con una precipitación mensual promedio de 23 mm. El Departamento de Chontales tiene una precipitación anual promedio de 1695 mm. El área de estudio se caracteriza por presentar un terreno montañoso con elevaciones de 400 a 835 msnm. La mineralización de oro está asociada con vetas de cuarzo que afloran en esta superficie montañosa. El Cerro Chamarro ubicado a 5 Km al NE del poblado de La Libertad, es el punto más alto de la concesión, a 835.2 msnm.

El yacimiento Jabalí tiene una extensión total de 3km en dirección este-oeste y está dividido en dos zonas: Jabalí Oeste y Jabalí Central.

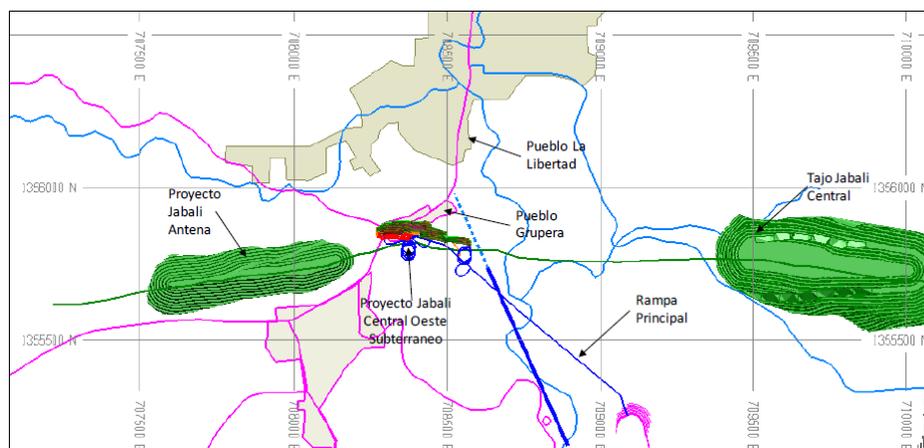
El yacimiento Jabalí se encuentra ubicado a 0.5km al sur del poblado de La Libertad y a 16.5km al noreste de la planta de procesamiento de La Libertad (Desminic SA) a través de carretera afirmada. En superficie se encuentra ubicado el barrio La Grupera.

*Figura N° 2: Acceso a la Mina Jabalí*



*Fuente: Proyecto Mina Jabalí*

*Figura N° 3: Ubicación Proyecto Mina Jabalí*



*Fuente: Proyecto Mina Jabalí*

### **1.2.1.2. Antecedentes históricos**

El yacimiento Jabalí está compuesto por una veta de alta ley y una de baja ley, una envolvente de stockwork y áreas de minado antiguo con mineral remanente en las cajas techo y piso. En total se reportan 2'302,337 toneladas de mineral con ley de 7.17gr/ton y 530,667 onzas troy de oro como recursos inferidos para tajo abierto y mina subterránea en Jabalí Oeste-Central (Calculado con ley de corte 0.0gr/ton en la veta "HG\_Vein"). En total 1'176,850 toneladas con ley de 5.25gr/ton corresponden al área de Jabalí Central que se serán minadas con el tajo Jabalí Central y 1'125,487 toneladas con ley de 9.17gr/ton corresponden al área de Jabalí Oeste, de las cuales 223,652 toneladas con ley de 10.07gr/ton serán minadas con el proyecto tajo Jabalí Antena y 901,835 toneladas con ley de 8.95gr/ton corresponden a los recursos disponibles para evaluación del proyecto Subterráneo Jabalí Antena. Finalmente, 472,532 toneladas de recurso con ley de 7.96gr/ton fueron incluidos en el reporte de reservas del proyecto Subterráneo Jabalí Antena y 429,304 toneladas con ley de 10.03gr/ton fueron excluidos del reporte por tener potencia angosta y alta dilución, mineral remanente alejado de las zonas de minado, baja ley, entre otros.

El estudio conceptual para el minado subterráneo del yacimiento Jabalí contempla el diseño, planeamiento, estimación de recursos

minables y evaluación económica de la aplicación del Método Bench & Fill de acuerdo al informe geomecánico de DCR Ingenieros del 2016 en donde se recomienda aplicar el método B&F en niveles de 16m de altura para la explotación de zonas insitu y remanentes de mineral en la caja piso.

Los recursos minables de mineral estimadas para el proyecto Jabalí Antena subterráneo, en un escenario con precio del oro de 1,200\$/oz troy, son 716,100 toneladas con ley de 5.26gr/ton, contenido metálico de 121,004 onzas troy de oro, potencia media insitu de 2.43m y porcentaje de dilución planificado de 52%.

Para el minado de los recursos minables estimados se ejecutaran 19.4km de desarrollos horizontales (rampas, bypass, cruceros y galerías), 1.5km de chimeneas verticales y 800 metros de raiseborer en un periodo de producción y desarrollos de 4 años.

Se calcula un valor actual neto al 5% del proyecto de 29.8M\$, una tasa y periodo de retorno del 52% y 2.7 años respectivamente.

### **1.2.1.3. Geología Local de la Mina**

En el yacimiento Jabalí, la mineralización de oro y plata ocurre en un ambiente epitermal de baja sulfuración, las vetas y los sistemas de stock-works se encuentran dispuestos en las rocas volcánicas andesíticas, el alto grado de oro (>1gr/tn) ocurre dentro de las estructuras de cuarzo brechoso bandeado y en pequeñas cavidades de cuarzo dentro de la roca andesítica. La alteración moderada de sílice ocurre dentro de las vetas y los stockwork. La tendencia de estos sistemas es aproximadamente Este – Oeste, con rumbos de

N75°-85°E, esta información es el resultado de las perforaciones y zanjas realizadas en un área de 3.5 km con una profundidad de 300 m bajo la superficie.

La estructura mineralizada en Jabalí Oeste varía en ancho desde 3m hasta 13 m, puntualmente puede llegar a 17 m, con un promedio aproximado de 8 m; en Jabalí Central - Oeste el ancho varía de 3 hasta 11 m, pudiendo llegar puntualmente hasta 13 m, con un promedio aproximado de 7 m; y en Jabalí Central - Este el ancho varía desde 2 hasta 8 m, llegando puntualmente a 9 m, con un promedio aproximado de 5 m; los stock-works varían en ancho de 3m a 30m con un promedio aproximado de 14m, los anchos de los stock-works incluyen a las vetas.

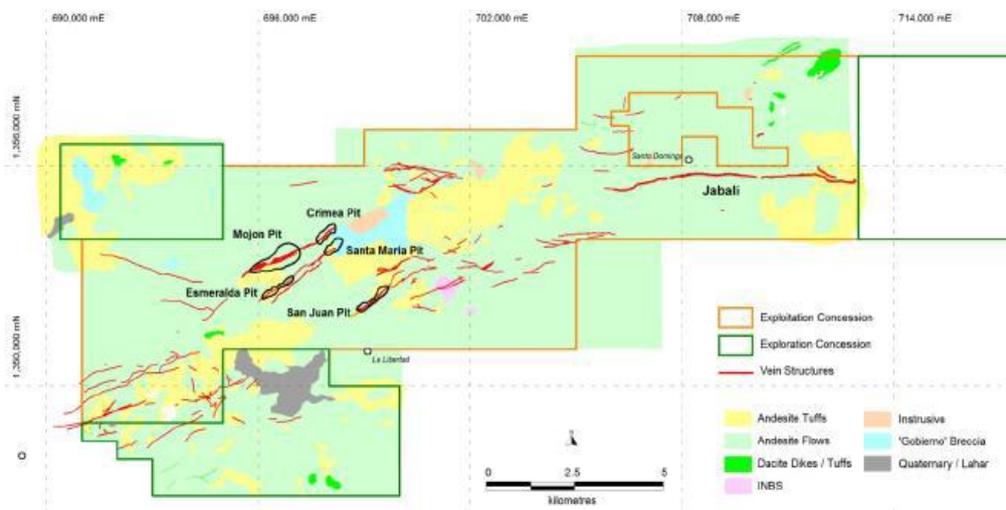
La estructura mineralizada Jabalí ha sido parcialmente minada antiguamente por métodos subterráneos particularmente en los sectores Jabalí Oeste donde se extrajo mineral con altos contenidos de oro quedando mineral remanente en las cajas techo y piso. En base a los sondeos diamantinos, se concluye que la mayoría de las cavidades generadas por la explotación antigua se encuentran vacías o rellenadas parcialmente.

#### **1.2.1.4. Geología Regional**

El Proyecto Antena se encuentra ubicado dentro del distrito minero aurífero de La Libertad el cual abarca 150 km<sup>2</sup> de área, se encuentra ubicado dentro de la Provincia Volcánica Terciaria o denominada también Provincia Geológica Central, está

caracterizada por una franja de rocas volcánicas del Terciario y sistematizadas como grupos Matagalpa y Coyol.

*Figura N° 4: Geología Regional de la Zona*



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

Las rocas del grupo Matagalpa son consideradas del Oligoceno-Mioceno y consisten de piro-clásticos ácidos. En la parte superior (Mioceno Plioceno) y en discordancia se emplazan las rocas del grupo Coyol, las cuales consisten de flujos lávicos básicos de naturaleza andesítica. Las rocas en la base del grupo Coyol están asociadas a la mineralización de oro en el yacimiento La Libertad. Las geo estructuras más importantes de carácter regional que atraviesan la Provincia geológica central son: el Graben de Managua, con una alineación N-S; el sistema de fallas de Punta Huete, de tendencia NE-SW; el sistema de Matiguás NW-SE y el sistema de Hess de tendencia próxima W-E.

#### **1.2.1.5. Geología estructural**

En la zona del proyecto se presentan una gran cantidad de fallas y lineamientos de diverso orden cuya caracterización es muy

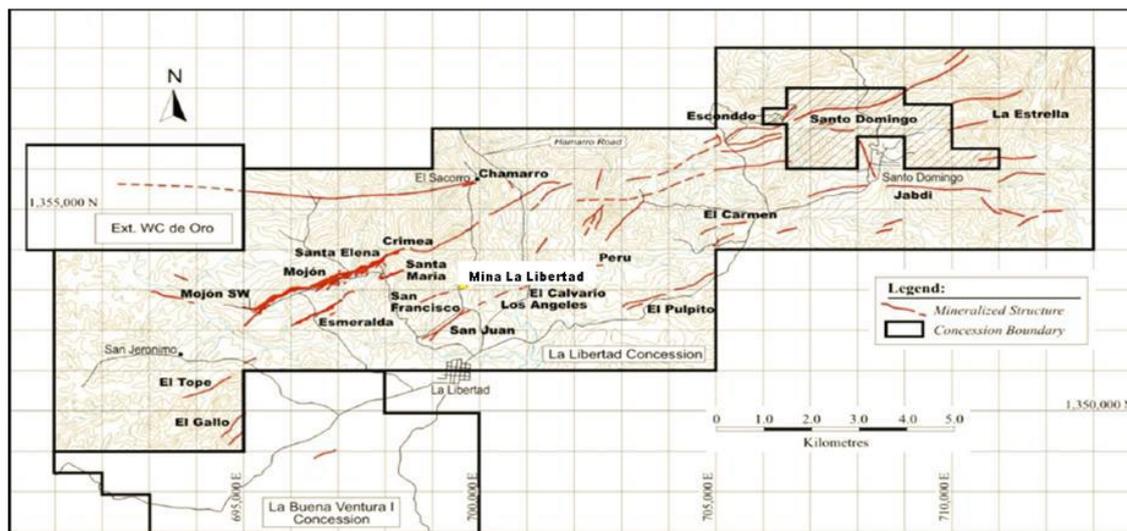
importante en el análisis geomecánico del proyecto. En el área de influencia del Proyecto Jabalí se pueden distinguir 3 grupos de familias de fallas según su orientación:

Fallas de dirección NW-SE; muy abundantes, por lo general persistentes y con longitudes entre 1 y 4 km, algunas fallas tienen importancia sub-regional y afectan indistintamente a las unidades Coyol y Matagalpa y, a veces se interceptan mutuamente con fallas de dirección NE-SW y E-W.

Fallas de dirección NE-SW y NNE-SSW; este sistema de fallas presentan longitudes de escasos kilómetros y planos de falla sub-verticales, destacan aquellas ubicadas al NE y NW de la zona de estudio que afectan a los volcánicos de la Unidad Coyol y Matagalpa.

Fallas de dirección E-W; esta familia de fallas es escasa y, generalmente de poca longitud. Sin embargo, en una de estas estructuras se presenta la mineralización de Oro y Plata, que son los recursos explotables más importantes. Además, su dirección E-W no viene claramente marcada como en los grupos anteriores, lo que dificulta su clasificación.

Figura N° 5: Geología Estructural



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

### 1.2.1.6. Geología económica

La estimación de recursos planificados del proyecto subterráneo Jabalí Antena se realizó sobre la estructura denominada en el modelo de recursos como “HG\_Vein” la cual corresponde a una interpretación de veta generalmente con leyes mayores de 2.50gr/ton. Desde el punto de vista litológico no hay diferencia entre el material contenido en “HG\_Vein” y la veta principal “Vein”. Veteado de alto grado (HG-Vn): registrado como brecha de cuarzo o veta de cuarzo con grados generalmente superior a 2,5 g / t. Se incluyeron grados más bajos a lo largo de los márgenes si se encontraban cerca de este umbral (hasta aproximadamente 2 g / t). De vez en cuando, se incluyeron intervalos de menor grado en consideración de continuidad con agujeros adyacentes. No se utilizó un ancho mínimo, sin embargo, las venas aisladas estrechas fueron excluidas.

### 1.2.1.7. Estimación de Recursos

El yacimiento Jabalí comprende una veta principal, a su vez compuesta por una veta de alta ley modelada exclusivamente para la evaluación de proyectos de explotación subterráneo, y infraestructura mineralizada potente que abarca la zona de alta ley y zonas de baja ley, también su modelo una envolvente de stock work y un área de minado antiguo que contiene material de relleno, pilares/puentes antiguos, material de colapsos, entre otros. Adyacentes al área de minado antiguo se tiene mineral remanente en las cajas techo y piso en potencias desde 0.2m hasta 1.5m. La estimación de recursos del proyecto Jabalí presentado en este informe se realizó basándose en el modelamiento de veta de alta ley “HG\_Vein” dividido en dos zonas: Jabalí Oeste y Jabalí central, en donde se tienen los siguientes recursos en categoría de inferidos:

Tabla N° 1: Estimación de Recursos

<b>Item</b>	<b>Tonelaje recursos insitu</b>	<b>Ley Insitu (gr/ton)</b>	<b>Finos de Oro (Oz. troy)</b>
<b>Zona Jabali Central</b>	<b>1176,850</b>	<b>5.25</b>	<b>198,824</b>
Proyecto Tajo Abierto Central	1176,850	5.25	198,824
Proyecto Mina Subterranea	-	-	-
<b>Zona Jabali Oeste</b>	<b>1125,487</b>	<b>9.17</b>	<b>331,843</b>
Proyecto Tajo Abierto Antena	223,652	10.07	72,385
Proyecto Mina Subterranea Antena	901,835	8.95	259,458
<b>Total Recursos</b>	<b>2302,337</b>	<b>7.17</b>	<b>530,667</b>

Fuente: Proyecto Mina Jabalí

En total se reportan 2'302,337 toneladas de mineral con ley de 7.17gr/ton y contenido metálico de 530,667 onzas troy de oro como recursos inferidos (Calculado con ley de corte 0.0gr/ton y únicamente en la veta HG\_vein). En total 1'176,850 toneladas con ley de 5.25gr/ton corresponden al área de Jabalí Central que se será minado con el proyecto tajo Jabalí Central (Tomando como

referencia el diseño operativo del Tajo Jabalí Central de septiembre del 2016).

En el área de Jabalí Oeste se tiene 1'125,487 toneladas con ley de 9.17gr/ton de donde 223,652 toneladas con ley de 10.07gr/ton serán minados con el proyecto tajo abierto Jabalí Antena (Basado en los límites de diseño operativo de tajo abierto) y 901,835 toneladas con ley de 8.95gr/ton corresponden a los recursos disponibles para evaluación del proyecto Subterráneo Jabalí Antena. Este reporte de recursos se basa en el modelo de recursos del 16 de marzo del 2016 y se realizó con herramientas del software MineSight.

#### **1.2.1.8. Geomecánica**

En esta etapa de evaluación conceptual del proyecto subterráneo Jabalí se utilizaron los parámetros y recomendaciones de diseño del informe “Inf Geomec Jabali DCR 2016” realizado por la consultora DCR en abril del 2016, en el cual se evalúa la aplicación del método banqueo y relleno (B&F) en niveles de 16m de altura. El informe de DCR describe las características del macizo de la zona de Jabalí Antena:

- El mineral del sector Jabalí Antena es de calidad variable la cual va desde calidad Mala B (IVB) hasta Regular A (IIIA). Esta variabilidad de calidades no tiene tendencias claras por sectores pero si se puede notar que a medida que la veta se acerca a superficie, la calidad de la masa rocosa disminuye.

- La calidad de la caja techo y caja piso también es variable la cual abarca desde calidad Mala A (IVB) hasta Buena (II). La roca de menor calidad generalmente se halla cercana a la veta y ésta disminuye a medida que se acerca a la superficie. Cabe indicar que la calidad de la caja piso es mejor con respecto a la caja techo.

En septiembre del 2016 se realiza una revisión del informe de DCR de abril del 2016 con el objetivo de proyectar una dilución (ELOS) en dos escenarios, el primero en un minado sin sostenimiento de las cajas y un segundo con uso de cable bolting; de acuerdo a la revisión se proyecta una dilución en las cajas de ELOS=1.30m en un escenario sin sostenimiento en las cajas y ELOS=0.90m en un segundo escenario con uso de cable bolting para el sostenimiento del 50% de las cajas. En este informe se considera que no se aplicara cable bolting y se proyecta una dilución ELOS de 1.30m, posteriormente se necesita realizar estudios más detallados que determinen la factibilidad del uso de cablebolting.

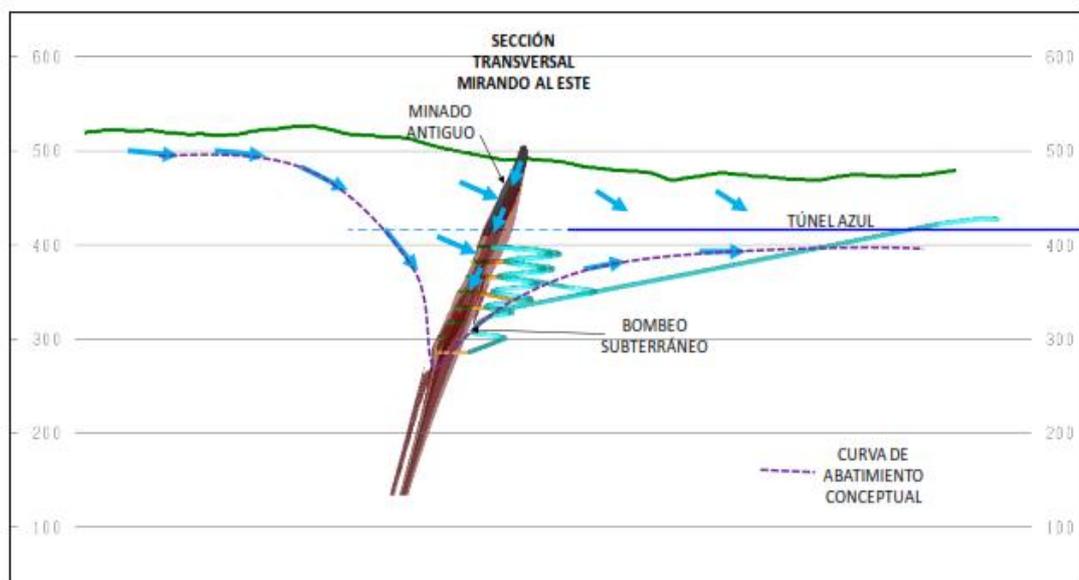
#### **1.2.1.9. Hidrogeología e Hidrología**

En septiembre de 2012 la consultora Hydrogeo realizó un estudio hidrogeológico para la explotación de los tajos abiertos Jabalí Central y Antena “Estudio hidrogeológico del proyecto minero santo domingo chontales, Nicaragua- InfFinalStoDomingo\_11Set12”, en donde se presenta un análisis

predictivo de los impactos de la explotación por tajo abierto en las fuentes.

En julio del 2016 se organizó una reunión técnica con el equipo de Hydrogeo para evaluar conceptualmente los impactos que tendría la explotación subterránea en los cauces existentes y principalmente en el caudal de agua presente en el Túnel Azul (60l/s). De esta reunión se concluyó que la explotación subterránea generaría una curva de abatimiento que impactaría significativamente en el caudal existente del túnel azul.<sup>7</sup>

*Figura N° 6: Comportamiento del flujo de agua durante la explotación*



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

En las Figura N°6 se grafica la curva de abatimiento que se generaría durante la explotación del yacimiento jabalí y que impactaría al caudal presente en la actualidad del túnel Azul. En un estudio previo de la empresa consultora Hydrogeo para los tajos abiertos Jabalí Antena y Jabalí Central se proyectó que no se tendría un impacto en el caudal del túnel azul (El nivel más

profundo proyectado para los tajos abiertos era la cota -400), ahora el proyecto subterráneo profundizara hasta la cota -240. Debido a lo expuesto, es necesario completar un estudio hidrogeológico actualizado con un enfoque en la explotación subterránea para determinar con mayor certeza los posibles impactos sobre los cuerpos de agua existentes y el caudal del túnel azul.

#### **1.2.1.10. Método de Explotación**

De acuerdo a lo señalado en el estudio geomecánico “Inf Geomec Jabali DCR 2016”, se proponen la aplicación del método de minado Banqueo y Relleno “B&F”. “El B&F es un método híbrido entre el SLS y el C&F, pero es más productivo que el C&F, y es aplicado cuando las condiciones geomecánicas lo permitan, generalmente en estructuras mineralizadas con cajas de regular a mala calidad. Este método se caracteriza por llevar el minado de manera longitudinal a la veta. Se construyen subniveles (inferior y superior) dejando un banco de mineral entre ambos, el mismo que es minado progresivamente mediante taladros largos. Conforme se va rompiendo el mineral del banco por un frente, en retirada, y se va limpiando el mismo por el subnivel inferior, se va rellenando el tajeo por el otro frente desde el subnivel superior, con relleno detrítico de preferencia seco, de esta manera se limita la longitud de las cajas expuestas, el relleno realiza el sostenimiento de las cajas.”

En este informe se evalúa la aplicación del método de explotación B&F variante 1 para el minado recursos planificados insitu de las zonas Jabalí Antena.

Método general: Minado por Subniveles con taladros largos en niveles de 16m de altura.

Tipo: Ascendente  
Secuencia de minado: longitudinal a la veta, por galerías

Tipo de perforación: Taladros paralelos

Tipo de relleno: Relleno detrítico

Para la zona de mineral remanentes en la caja piso se plantea el método de explotación B&F variante 2:

Método general: Minado por Subniveles con taladros largos en niveles de 16m de altura.

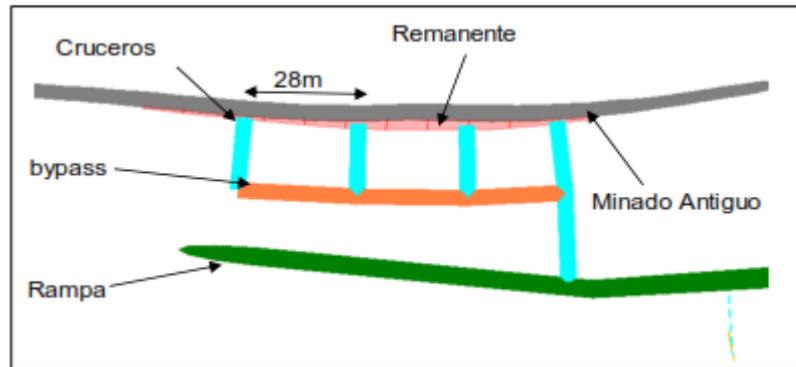
Tipo: Ascendente

Secuencia de minado: transversal a la veta, por bypass y cruceros

Tipo de perforación: Taladros en abanico

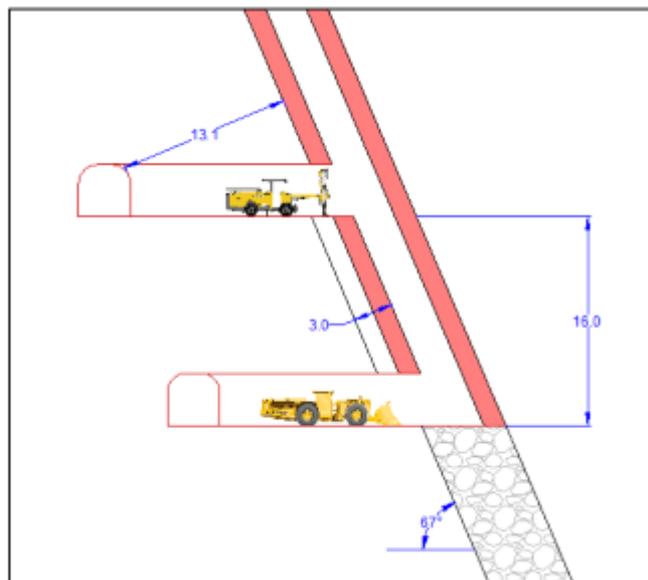
Tipo de relleno: Relleno detrítico

*Figura N° 7: Vista en planta del método de minado para explotación de mineral remanente en la caja piso*



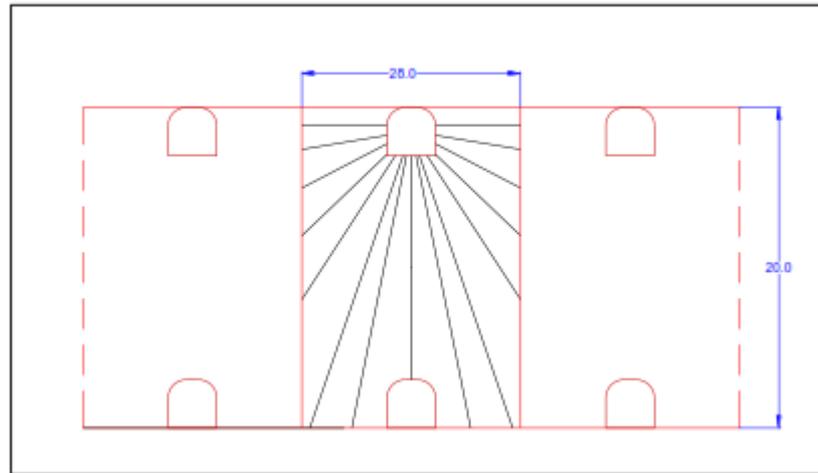
Fuente: Proyecto Mina Jabalí

*Figura N° 8: Vista transversal del método de minado para explotación de mineral remanente en la caja piso*



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

*Figura N° 9: Vista longitudinal de la malla de perforación para explotación de mineral remanente en la caja piso*

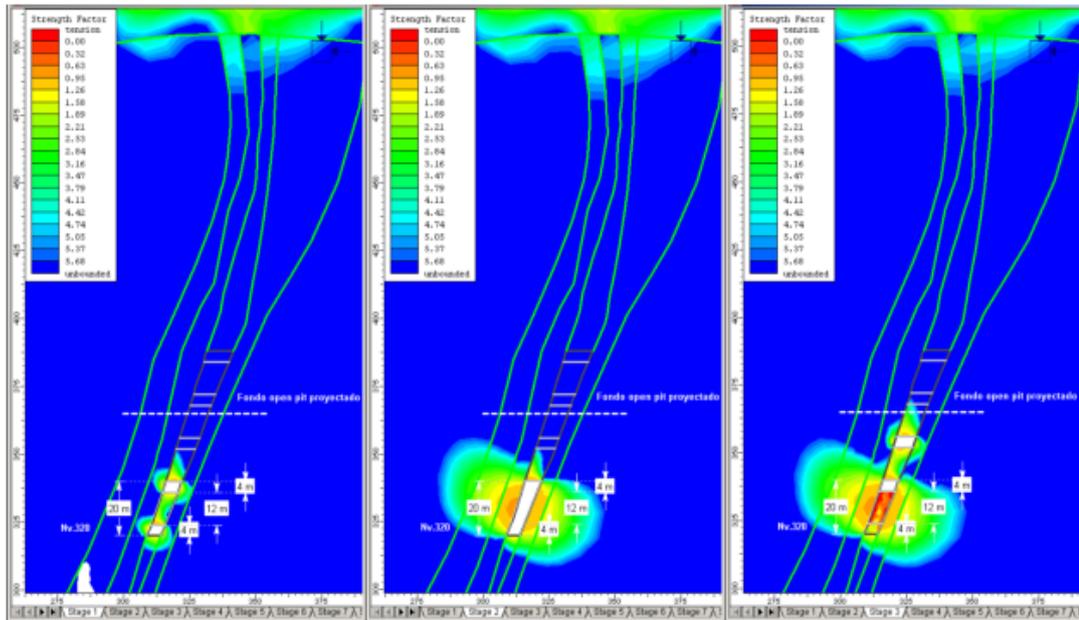


Fuente: Proyecto Mina Jabalí

#### **1.2.1.11. Dimensionamiento del Método**

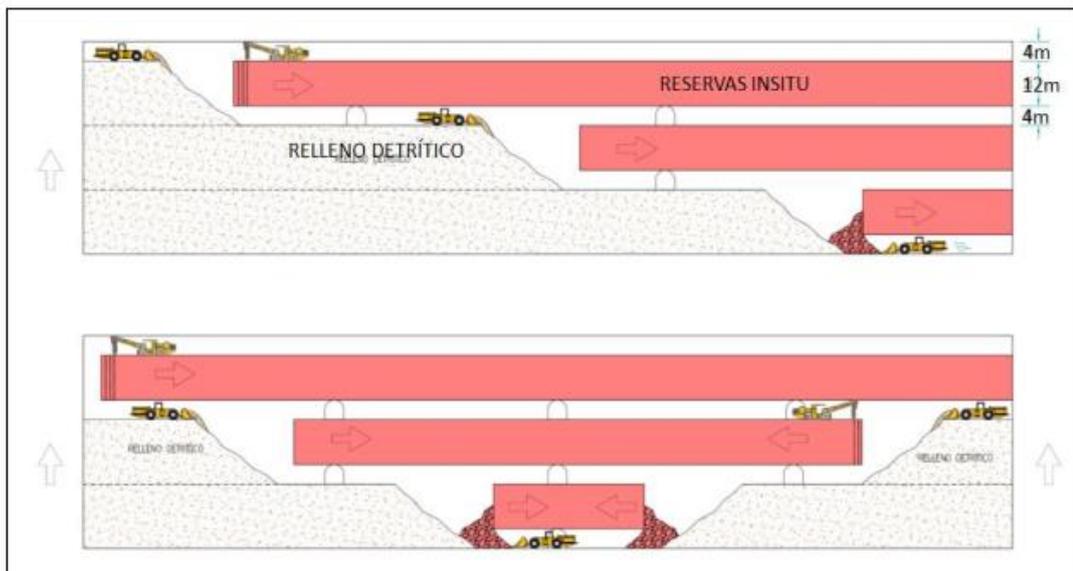
El dimensionamiento de la explotación del método de minado C&F está basado en los criterios, parámetros y recomendaciones expuestos en el informe “Inf Geomec Jabali DCR 2016”, en donde se calcularon altura de niveles de explotación de 16m (de piso de nivel superior a piso de nivel inferior), teniendo bancos de mineral de 12m y altura de excavación total de 20m. El Ing. Roberto Cabrera reviso la aplicación del método planteado y calculo un ELOS de 1.30m a aplicar en el cálculo de recursos planificados.

Figura N° 10: Análisis de secuencia de Minado por método de elementos finitos. Distribución de factores de resistencia (SF). Imagen del informe “Inf Geomec Jabali DCR 2016”



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

Figura N° 11: Secuencia de Minado del Método Bench&Fill

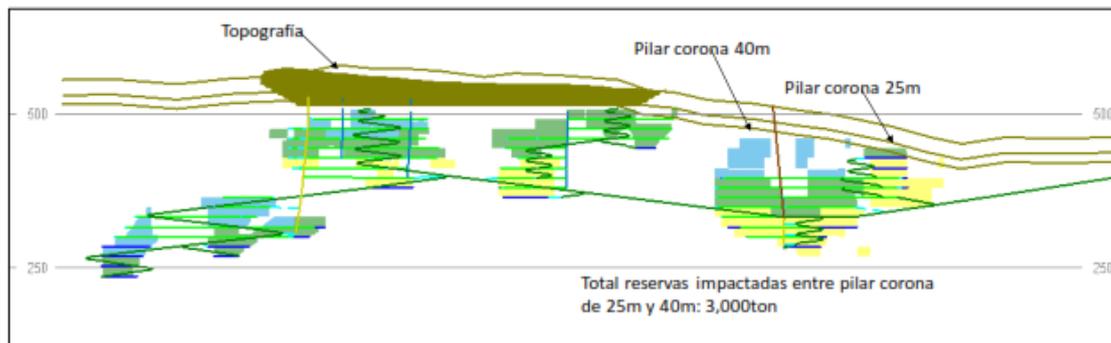


Fuente: Proyecto Mina Jabalí

En el informe geomecánico se recomiendan alturas de pilar corona de 15m y pilares puente en las bases de los tajos abiertos de 12m.

Para este informe se consideró altura de pilar corona en todo el yacimiento de Jabalí de 25m.

*Figura N° 12: Impacto del pilar corona en los recursos planificados*



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

El factor de pérdida de reservas o sub-rotura en toda explotación por taladros largos se tiene un porcentaje de pérdida de reservas que quedan como remanentes en las cajas o techos de las cámaras generadas. En un escenario de calidad de mineral y cajas mala a regular, potencias angostas y por ende alta dilución, la pérdida de mineral debiera ser mínima o igual a cero, en cambio, en un escenario de potencia de mineral mayor al ancho de la galería (3.7m) la voladura se realizara mediante la perforación de taladros largos en abanico y por lo tanto se esperaría presentar casos de pérdida de mineral en las cajas. Para este informe se considera una recuperación mineral durante la explotación del 100%. La ley de corte en base a los costos operativos, precio del oro y recuperación de procesamiento se obtiene una ley de corte de 2.20 gr/ton para stopes ubicados en los niveles de diseño.

*Tabla N° 2: Cálculo de la ley de corte.*

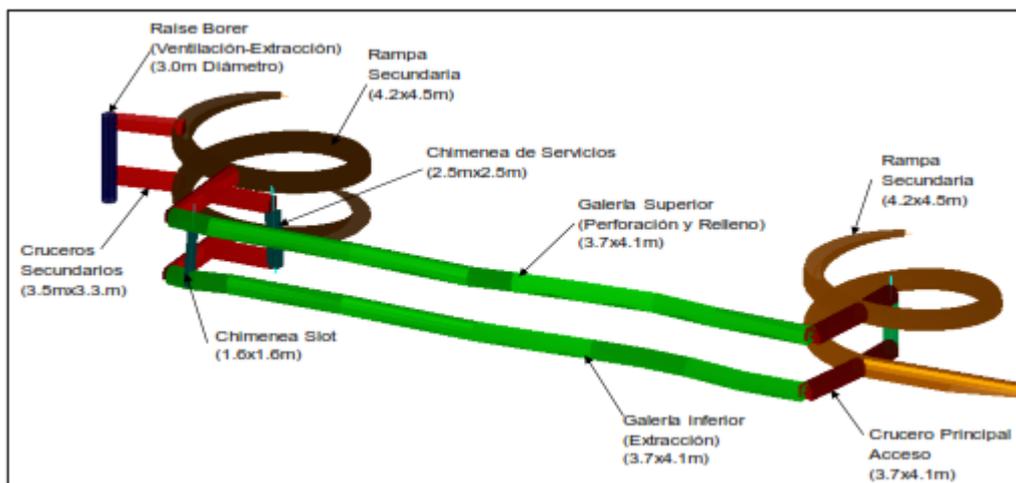
<b>1. COG Mining (Ley de Corte de Minado)</b>		
1.1. Stopes Insitu (Nivel no desarrollado)	<b>3.29</b>	gr/ton
1.2. Stopes Insitu (Nivel de producción)	<b>2.20</b>	gr/ton
1.3. Stopes preparados	<b>1.41</b>	gr/ton
<b>2. COG Mill (Ley de Corte de Molino)</b>		
	<b>0.66</b>	gr/ton

Fuente: Proyecto Mina Jabalí

#### **1.2.1.12. Diseño de Explotación**

La altura de los niveles de explotación será de 16m desde el piso de nivel inferior al piso de nivel superior (Altura de bancos de 12m). La rampa principal se desarrollara a 220m al noreste del túnel azul, en la cota 425 y tendrá una sección de 4.5x4.5m desde donde se desarrollaran rampas secundarias de accesos a los niveles, el acceso al mineral será a través de cruceros perpendiculares a la estructura y desarrollo de galerías con sección de 3.7x4.1m, se ejecutaran chimeneas slot de 1.6x1.6m y chimeneas de ventilación/servicios de 2.5x2.5m. El proyecto requiere la ejecución de dos raiseborer de 3.0m de diámetro de ventilación y tres raiseborer para ingreso de relleno detrítico.

Figura N° 13: Diseño de infraestructura y preparación conceptual



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

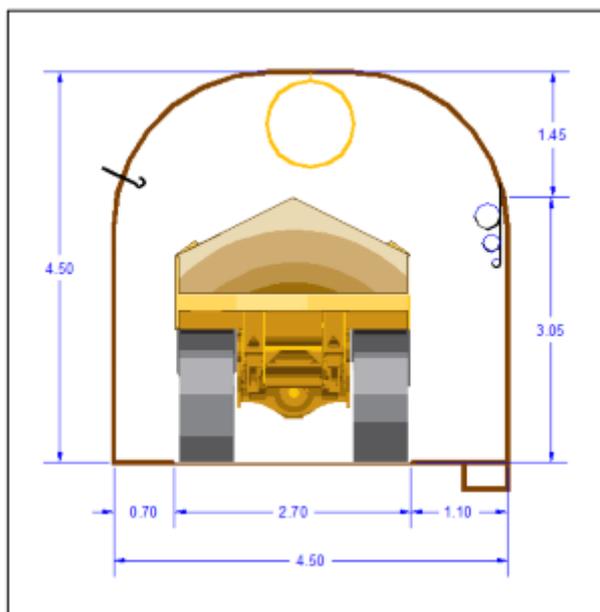
La explotación de las reservas iniciara en la zona de Jabalí Oeste, en donde se plantea la secuencia de minado con uso de camiones de bajo perfil CAT DR30 que transportaran el mineral desde tajos de producción hasta la cancha de acopio de mineral ubicada en área del botadero de Tajo Jabalí Central, desde este punto los camiones de bajo perfil retornaran a la mina cargados de material estéril para el relleno de cavidades en subterráneo. El mineral acopiado en las canchas del botadero Jabalí Central será transportado a la planta por camiones superficiales de 30 toneladas.

Para la zona de jabalí Antena en donde se tiene principalmente recuperación de mineral remanente en la caja piso se plantea la ejecución de bypass en todos los niveles que nos permitan el desarrollo de cruceros para perforación de taladros en abanico para la explotación del mineral remanente. En esta zona se plantea la ejecución de chimeneas raiseborer para el ingreso de relleno detrítico.

### **1.2.1.13. Rampas Principales**

Las rampas principales y secundarias se diseñaron con sección de 4.50x4.50m, dimensionadas tomando en cuenta el tránsito del camión de bajo perfil CAT ADR30 de 30ton de capacidad. La gradiente de diseño máxima es del 12% y el radio de curvatura al eje es de 18m como mínimo. La bocamina se encuentra ubicada en la cota 424 y está a 200m al suroeste del tajo abierto Jabali Central. Con el objetivo de asegurar ratios de profundización de rampas de por lo menos 120m/mes (crítico para asegurar la producción planteada en este informe) se plantea el uso de equipos tipo “HÄGGLOADER” de Atlas Copco que permiten un carguío continuo y directo a los camiones de bajo perfil y permiten alcanzar ratios de desarrollo de hasta 180m/mes (Ratio de mina AGUAS Teñidas, España), adicional a los ratios de desarrollo que se pueden alcanzar, se tienen ventajas en la reducción de caudal requerido por frente. Como alternativa a la voladura de avance se propone el uso de equipos de corte como Dynacut de JoyGlobal para desarrollos horizontales, esto con el objetivo de reducir el impacto en las comunidades ubicadas en superficie cercanas al área del proyecto.

Figura N° 14: Sección transversal estándar de diseño de rampas (camión CAT ADR30)

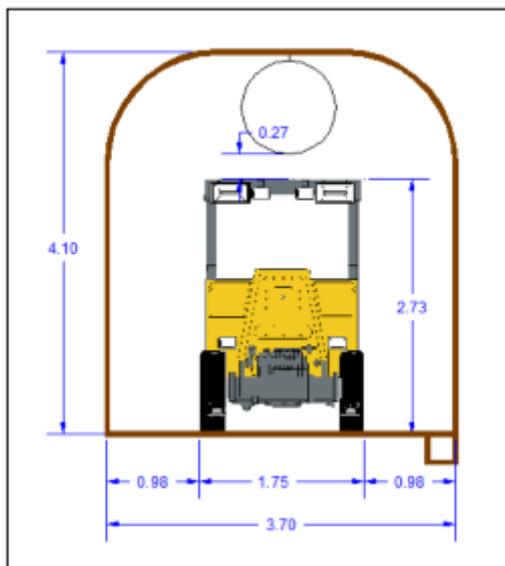


Fuente: Proyecto Mina Jabalí

#### 1.2.1.14. Cruceos, Bypass y Galerías

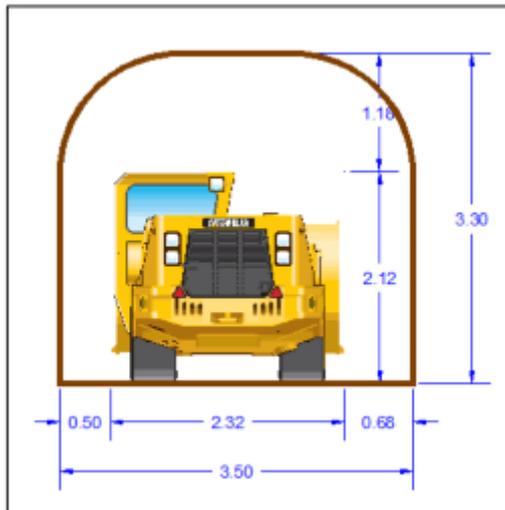
Los cruceos y galerías se dimensionaron en base a los equipos diseñados para operación, principalmente el scoop CAT R1300 (4.1yd<sup>3</sup>), el jumbo Atlas Copco Boomer S1D y Simba Atlas Copco S7D. Se definió una sección de 3.7mx4.1m para cruceos, galerías y bypass principales en donde se tendrá tráfico constante de equipos e instalación de mangas de ventilación y 3.5x3.3m de sección para cruceos secundarios de ventilación y servicios que no tendrán una longitud mayor a 30m y no habrá tráfico constante de equipos. Las gradientes de diseño para cruceos, galerías y bypass son del 1%. Los Bypass se diseñaron a una distancia de 18 metros del contacto piso de la veta económica.

Figura N° 15: Estándar de diseño de cruceros y bypass principales (Jumbo SID)



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

Figura N° 16: Estándar de diseño de cruceros de ventilación y servicios (Scoop CAT R1300)



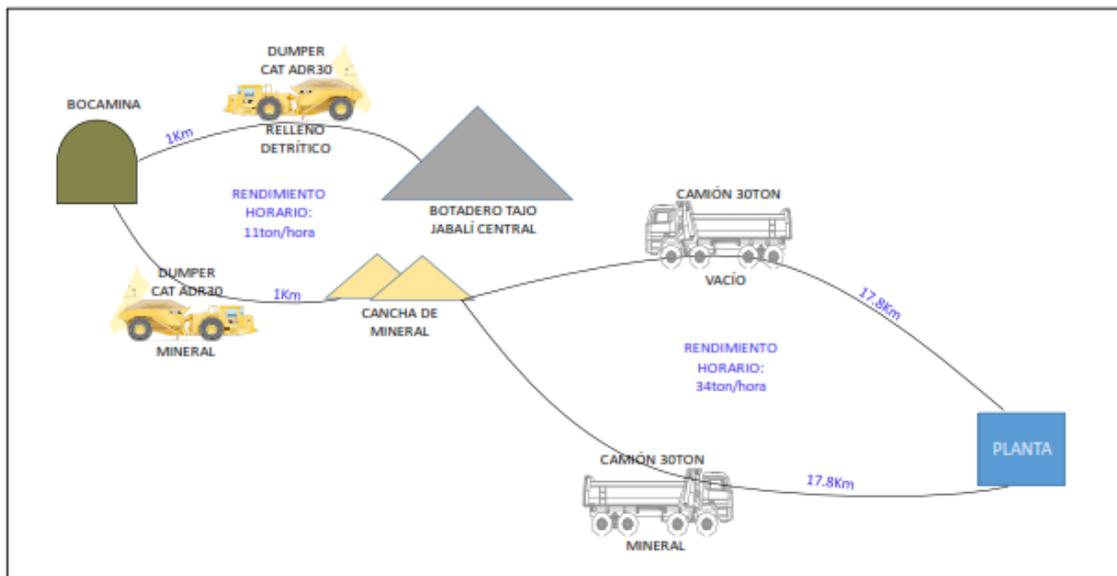
Fuente: Proyecto Mina Jabalí

### **1.2.1.15. Relleno Detrítico**

El método de explotación evaluado requiere el uso 450,000m<sup>3</sup> de relleno detrítico, este material se obtendrá del botadero de tajo abierto Jabalí Central y/o Antena que se encuentra ubicado a 1km de la bocamina proyectada. Para las zonas 1 y 4, los camiones de bajo perfil CAT ADR30 de 30 toneladas de capacidad extraerán en mineral de los tajos de producción hasta la cancha de acopio de mineral ubicada en el área del botadero de estéril de Tajo Abierto Jabalí Central, en este punto, un cargador frontal cargara los camiones con material estéril para el relleno de los tajos de producción, de esta manera se asegura un volumen de relleno equivalente a la extracción de mineral de interior mina que permitirá el relleno de las cavidades generadas. Para las zonas 2 y 3, el relleno detrítico será ingresado a las zonas de explotación mediante chimeneas wastepass que conectaran en superficie dentro de los límites de explotación del proyecto tajo abierto Jabalí Antena, e superficie operara un cargador frontal que mantendrá un flujo constante de relleno detrítico hacia interior mina y en subterráneo se tendrá un scoop trasladando el relleno detrítico desde las chimeneas wastepass hasta los stopes de producción a una distancia no mayor de 150 metros.

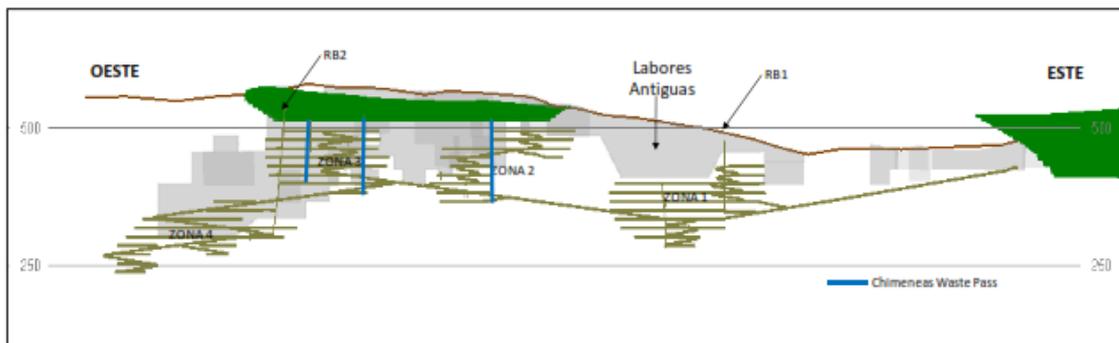
Se requiere evaluar la construcción de cámaras de acopio de estéril temporal en interior mina para el material proveniente de los desarrollos con el objetivo de reducir los costos de acarreo de estéril.

Figura N° 17: Secuencia de minado de mineral y relleno detrítico en superficie



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

Figura N° 18: Ubicación de chimeneas de relleno detrítico para las zonas 2 y 3



Fuente: Proyecto Mina Jabalí

### 1.3. Formulación del Problema

#### 1.3.1. Problema Principal

¿En posible reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 - Mina Jabalí?

#### 1.3.2. Problemas Específicos

¿La aplicación de un nuevo diseño de distribución de taladros en el tajo 333 – 311 – Mina Jabalí permite la reducción de las vibraciones del Municipio de Santo Domingo?

¿La aplicación de un nuevo diseño de carga operante en el tajo 333 – 311- Mina Jabalí permite la reducción de las vibraciones del Municipio de Santo Domingo?

#### **1.4. Formulación de Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 - Mina Jabalí.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de la distribución de taladros en el tajo 333 – 311 - Mina Jabalí

Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de la carga operante en el tajo 333 – 311 - Mina Jabalí.

#### **1.5. Justificación de la Investigación**

El presente trabajo se hace necesario debido a que aún no se tiene resultados de vibración admisibles permanentes de los disparos efectuados en el tajo 333-311. Y para tener la confiabilidad de operar sin incomodidades de la población, con un aporte de mineral de acuerdo al plan de extracción se hace necesario un replanteo de la distribución de taladros y carga operante que garantice vibraciones en superficie que estén por debajo de los límites máximos permisibles. Los resultados

obtenidos servirán para sustentar el control de vibraciones ante el Ministerio de Energía y Minas (institución que fiscaliza) y continuar manteniendo buenas relaciones con la población santo dominguense.

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

- Material explosivo limitado (restricciones en la importación)
- Poca información geológica y planos de ubicación de la población.
- Poca intensidad de señal de internet
- Desconfianza de la población para permitir el monitoreo en sus casas
- Lluvias torrenciales que dificultan el monitoreo

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de Estudio**

Se realizó la revisión de literatura respecto a estudio de vibraciones generadas por las voladuras y carga operante, encontrándose la siguiente información:

##### **2.1.1. Internacionales**

**Dey & Sen (2003)** en el estudio “Concept of Blastability – An Update” explica que el principal objetivo de la investigación es el control de vibraciones por las voladuras y conseguir una vibración adecuada que se ajusten a los valores normales permisibles, así mismo buscar un factor de explosión específico para reducir al mínimo el costo de la minería en general, aproximándonos a un buen resultado utilizando parámetros geo mecánicos, un buen diseño y explosivos adecuados. Las conclusiones del estudio son los siguientes: Se ha intentado definir la explosividad de una u otra manera, pero aún, un esquema de explosividad universal único bien definido, que definirá el diseño y el rendimiento de la explosión de manera efectiva, aún está por lograrse. La investigación fundamental sobre diseño

de explosiones y para describir la masa rocosa que ve la voladura como una operación está en marcha. Se cree que puede ser posible obtener una metodología universal para determinar la vibración de una explosión, que incorporará los resultados de la explosión y ser capaz de relacionarse estrechamente con el factor de polvo y vibración para diferentes condiciones de minas.

**Mestas (2007)** en el estudio “Diseño de mallas de perforación y voladura aplicando un modelo matemático de áreas de influencia”, realizado para ejecutar diseños óptimos sin la necesidad de realizar muchas pruebas de campo y en donde el objetivo es diseñar mallas de perforación y voladura aplicando un modelo matemático de áreas de influencia y pronosticar el análisis de la vibración, fragmentación para determinar si es el óptimo. La hipótesis del estudio consiste en que después de ejecutar el análisis teórico y las pruebas de campo, se demuestra que:

- Si es posible diseñar mallas de perforación y voladura, aplicando el modelo matemático de áreas de influencia, utilizando las variables obtenidas del campo para poder controlar las vibraciones.
- También es factible, utilizar el análisis granulométrico para pronosticar la fragmentación y evaluar diseño de malla de perforación y voladura, usando sus variables de campo.

Las conclusiones del estudio fueron las siguientes:

- Si fue posible diseñar mallas de perforación y voladura para tajeos, utilizando la nueva teoría para calcular el burden y espaciamiento para controlar las vibraciones

- El diseño de mallas de perforación realizados por esta teoría se consideró la carga operante para cortes en paralelo.
- Fue posible utilizar el análisis granulométrico para pronosticar la fragmentación y evaluar el diseño de malla de perforación y voladura para determinar dicho diseño si era el ideal.
- Para que el diseño de malla de perforación ideal debe de tener como mínimo un 95 % pasante de fragmento roto con una vibración permisible dentro de las normas.

El modelo predictivo de Kuz-Ram es una buena herramienta para analizar la tendencia de la fragmentación y vibraciones para diferentes diseños de malla de perforación y voladura.

### **2.1.2. Nacionales**

Cano Mucha (2019), su tesis “Estudio de Vibraciones para la Selección de Explosivo Óptimo en la Unidad Operativa Selene - Compañía Minera Ares S.A.C. Filial De Hochschild”, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Concluye que: En la aplicación de taladros largos, en base a estos estudios y parámetros geomecánicos, se propuso el diseño de carguío en el que se menciona el uso de decks intermedios el cual reduce el factor de carga, minimizando la vibración y por ende el daño a la roca creando un ambiente de trabajo seguro para los equipos.

Ticlia Amador (2018), en el desarrollo de su tesis “Análisis y Modelamiento de Vibraciones para Selección Óptima de Explosivo y Carga Máxima para Reducir los Costos por Voladura En La Rp Patrick V, Nv 2220 – Marsa 2018”, Universidad Nacional de Trujillo.

Concluye que: Los datos estadísticos muestran que aplicando los modelos predictivos mediante la ley de atenuación y la función de regresión en campo lejano aplicando los criterios de daños en función de la Velocidad pico partícula crítica (VPPC) dio como resultado los siguientes niveles de daño de los explosivos, como resultado de las inspecciones se genera un 20% de acciones correctivas o preventivas de los cuales deberán ser administradas eficazmente para que estén puedan ser implementadas en el tiempo propuesto y se les debe dar seguimiento para que los controles perduren en el tiempo.

El explosivo que genera mayor sobre rotura y daño en las voladuras de contorno es el Emulsor 1000 con un diseño de carga continuo de 0 - 0.65 m de intenso fracturamiento y 0 - 1.5m de creación de nuevas fracturas de alrededor del perímetro de la labor, por otro lado el uso del explosivo Exblock Lite con un diseño de carga desacoplado es el que menor daño genera con 0-0.35 m de intenso fracturamiento ,0.35-0.95 m de creación de nuevas fracturas y Extensión de fracturas pre-existentes: 0.95 – 2.5 m.

Choque Choccelahua (2017), tesis “Modelo Matemático de Langefors para Optimizar el Diseño de Mallas de Perforación y Voladura de Taladros Largos – Unidad Yauliyacu”, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Concluye que:

El modelo matemático de Langefors considera parámetros como el factor de fijación y el factor de inclinación que es importante por la naturaleza, forma y tamaño del yacimiento, así como la geomecánica del macizo rocoso. Después de la aplicación del modelo de Langefors el factor de potencia igual 0.35 kg/TM y el factor de energía igual a 1.32 MJ/TM son

menores en vez de lo que ocurría ante cuando los valores eran de 0.62 kg/TM, y el factor de energía igual a 2.34 MJ/TM.

**Cruzado & Díaz (2017)**, la tesis “Análisis de la Máxima Carga Operante en las Vibraciones a Campo Lejano Generadas por Voladura, En Minera Cerro Negro S.A., Cajamarca – 2017”, Universidad Privada del Norte.

Concluyen en que: Se logró encontrar la máxima Carga Operante para 864 kg de explosivo, obteniendo un nivel de PPV igual a 2.99 mm/s a una distancia de 780m. Este análisis establece una distancia mínima para encontrarnos dentro de los límites que establece un valor 3 mm/s como máximo para la norma DIN 4150 a campo lejano generadas por Voladura, en Unidad Minera Cerro Negro S.A.

## **2.2. Bases Teóricas – Científicas**

### **2.2.1. Fundamentos de Vibraciones**

Una de las primeras investigaciones relacionadas a las vibraciones producto de voladuras consistió en hacer detonar cierta cantidad de explosivo en un desmonte de rocas, para posteriormente, medir los daños causados en las estructuras cercanas. Este fue el inicio de un programa de investigaciones por el USBM en 1930. El primer trabajo que realizó este equipo fue el de desarrollar un tipo de sismógrafo que se pudiera adaptar a la tarea de captar vibraciones producidas durante las operaciones normales de explotación de minas. Luego de estudiar los aparatos utilizados en la captación de vibraciones originadas por movimientos telúricos, y a varios proyectos, se fabricaron algunos modelos, los cuales fueron los precursores de los modernos sismógrafos de ingeniería.

Los explosivos usados en la minería generan ondas que se transmiten en todas las direcciones desde la fuente. Estas vibraciones superficiales causadas por el paso de las ondas de Rayleigh (principalmente) pueden ser registradas en dos componentes horizontales y una vertical en forma de registros contra el tiempo de aceleración, velocidad o desplazamiento. Estas vibraciones pueden afectar las edificaciones cercanas a la zona de operación de la mina.

Asimismo, de acuerdo con Dowding y McKenna (2005) y Gad et al. (2005) es importante diferenciar los daños inducidos por las vibraciones de las voladuras de aquellos inducidos por otros fenómenos como los cambios de temperatura o de humedad, gradientes de temperatura entre la noche y el día, asentamientos diferenciales, sobrecargas estructurales, cambios químicos en los materiales, durabilidad de los materiales, entre otros aspectos. Esto es particularmente importante si se tiene en cuenta que en Dowding y McKenna (2005) se menciona que movimientos del terreno con velocidades pico de 1.5 mm/s originados en voladuras generan un movimiento de grietas 10 veces menor que el asociado con fenómenos atmosféricos. El primer autor (Ruiz Valencia) coordinó un estudio en el que aparecieron fisuras y grietas en edificaciones de un piso que la comunidad asociaba con las voladuras en una mina cercana. Después de una exhaustiva investigación se logró demostrar que estos daños en realidad se debían a fenómenos expansivos del suelo de cimentación de las viviendas, los cuales generaban una serie de esfuerzos en los muros superaban ampliamente la resistencia a tensión de la mampostería. Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario instrumentar en el tiempo las grietas, ya que con la medición

continua es posible tener luces sobre el real aporte de los diferentes fenómenos naturales (por ejemplo, el clima) y los antrópicos en la evolución de procesos de figuración.

### **2.2.2. Control de Vibraciones**

Un elemento importante en el proceso de evaluación y optimización de la operación de voladura, es poder predecir a través de un modelo, las consecuencias y beneficios al introducir cambios en los parámetros más relevantes de una voladura, sin que ello deba necesariamente tener que realizarse a escala real. Se pueden distinguir diferentes enfoques asociados al modelamiento de vibraciones, los cuales tienen como objetivo final predecir los niveles de vibración (velocidad de partículas), en un punto específico de acuerdo a un diseño de voladura dado.

Se utilizan frecuentemente los modelos empíricos tradicionales, que permiten con datos obtenidos en terreno establecer modelos o ecuaciones generales de comportamiento, que representan la velocidad de partículas en función del explosivo detonado, y la distancia de la voladura al lugar de interés.

Además de la acción de reducir el tamaño y mover la roca, la energía de una voladura genera ondas sísmicas que pueden causar un daño significativo a la roca a grandes distancias, pudiendo afectar a fallas o estructuras principales como también a instalaciones industriales y edificaciones. Las ondas de vibraciones pueden ocasionar un daño mayor a potencial 10, cuando se presenta con altos niveles de vibraciones y frecuencia dominante más bajas, lo que determina mayores

desplazamientos y mayor riesgo de daño al macizo rocoso. Para un control se debe considerar:

**a) Naturaleza cíclica de las vibraciones**

Las vibraciones son un movimiento cíclico que ocurre dentro de un medio, debido al paso de fases alternativas de compresión y tensión. Con respecto a las vibraciones por voladuras inducidas en la roca, generalmente se considera que las vibraciones son producidas por la detonación del explosivo.

**b) Propiedades básicas de las ondas**

- Frecuencia de las vibraciones
- Amplitud de las vibraciones
- Duración de las vibraciones
- Longitud de onda de las vibraciones
- Velocidad de Propagación
- Tipos de ondas en vibraciones
- Primer arribo de ondas
- Unidades de vibraciones
- Velocidad de las vibraciones
- Aceleración de las vibraciones
- Vibraciones y esfuerzo
- Pérdida friccional
- Monitoreo de vibraciones

Obtención de datos a partir del monitoreo de las vibraciones

**c) Verificación del Máximo Desplazamiento**

A partir de estos registros se puede obtener información del nivel de vibraciones que se obtiene en cierto tiempo de la onda, lo cual puede ser asociado a un taladro o a varios taladros detonados en forma simultánea.

Sin embargo, a este nivel de vibraciones que se identifique, se debe verificar que el desplazamiento del geófono no haya superado el nivel máximo permitido (2mm) lo cual se puede verificar mediante la integración de la onda.

Para realizar la integración de la onda se puede realizar en forma directa con el software Blastware del Micromate, utilizando la función Integrate sobre la onda de velocidad, la cual entrega los valores de desplazamiento de la onda completa.

#### **d) Propiedades Físico - Mecánicas de las Rocas**

Las propiedades de las rocas constituyen el principal obstáculo en el camino hacia una voladura óptima. Los materiales poseen ciertas características que son función de su origen y de los procesos geológicos posteriores que actuaron sobre ellos. El conjunto de estos fenómenos conduce a un determinado entorno, a una litología en particular con unas heterogeneidades debido a los agregados minerales policristalinos y a las discontinuidades de la masa rocosa (poros y fisuras), y a una estructura geológica con un gran número de discontinuidades (planos de estratificación, fracturas, diaclasas, etc.). En la figura, se establece la interdependencia que existe entre las propiedades de las rocas, las variables controlables y algunas de las operaciones básicas del ciclo minero.

### e) Mezcla Explosiva

Para seleccionar la mezcla explosiva que mejor se adecue a las propiedades del macizo rocoso es necesario definir desde el punto de vista físico y geológico. Las propiedades físicas y mecánicas que influyen en la reacción del macizo rocoso a la energía producida por la detonación de un explosivo son:

1. Densidad.
2. Resistencia a la compresión y tracción.
3. Módulo de Young.
4. Relación de Poisson.
5. Módulo de Bulk o compresibilidad.
6. Velocidad de la onda longitudinal.
7. Porosidad.
8. Fricción interna.

### f) Características Geológicas y Geotécnicas del Área en Estudio

**Litología:** La voladura en zonas donde se produce un cambio litológico brusco obliga a reconsiderar el diseño, pudiendo seguir dos alternativas: Esquemas iguales para los dos tipos de roca y variación de las cargas unitarias. Esquemas distintos, pero con igual carga por taladro.

**Fracturas Preexistentes** Todas las rocas presentan discontinuidades, micro fisuras y macro fisuras, que influyen de manera directa en las propiedades físicas y mecánicas de las rocas y por lo tanto en los resultados de la voladura.

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

Presencia de agua, las rocas porosas y los macizos rocosos intensamente fracturados saturados de agua presentan habitualmente algunos problemas:

- Obligan a seleccionar explosivos no alterables por agua.
- Producen la pérdida de taladros por hundimientos internos.
- Dificultan la perforación inclinada.

Temperatura del Macizo Rocosos Los yacimientos que contienen pirritas suelen presentar problemas de altas temperaturas de la roca por efecto de la oxidación, haciendo que los agentes explosivos del ANFO reaccionen a partir de una temperatura de 120°. Una recomendación general cuando se presentan estos problemas es delimitar el número de taladros por voladura a fin de disminuir el tiempo que transcurre entre la carga y el disparo.

### **2.2.3. Normativas Internacionales**

Trabajos realizados en diversos países Europeos, en Canadá, USA y en Australia propusieron diferentes valores de velocidad máxima de partícula, tratando de esta manera evitar daños a construcciones. Los valores propuestos se sitúan usualmente entre el rango de 10 – 50 mm/s. Las normas

internacionales de los países del entorno europeo más destacadas son las siguientes:

Alemania: DIN 4150

Francia: GFEE

Gran Bretaña: BS 7385

Suecia: SS460 48 66 9

Portugal NP-2074

Internacional: ISO 2631

Estados Unidos: USBM RI 8507

Norma Unión Europea

Otros.

#### **2.2.4. Variables de la Geometría del Disparo**

Las condiciones particulares de cada macizo rocoso determinarán los detalles del diseño de voladura. Las dimensiones principales son el burden y el espaciamiento.

La relación de las diferentes dimensiones usadas en el diseño de la malla de perforación y voladura superficial es mostrada por una vista geométrica.

El burden es la distancia perpendicular desde un taladro hasta la superficie libre más cercana en el momento de la detonación.

El burden se considera como el adecuado a aquel con el que se ha logrado en la producción continua los requerimientos siguientes:

- Un grado uniforme y específico de fragmentación.
- Una rotura completa del piso.
- Un lanzamiento suficiente del material.

Espaciamiento Distancia entre taladros y cargas en una fila, medida perpendicularmente hacia el burden y paralelo a la cara libre del movimiento esperado de la roca.

Entre otros parámetros geométricos importantes tenemos al diámetro de taladro que es importante para obtener una fragmentación adecuada a un costo porque permite a mayor diámetro se puede acumular mayor cantidad de energía y generalmente, el costo de perforación y de explosivos disminuye a medida que el diámetro del taladro aumenta.

También se considerada a la altura de banco para tener un diseño de voladura superficial satisfactorio el burden y la altura de banco deben ser compatibles. La altura de banco debe ser por lo menos igual a la distancia del burden y a lo más dos veces el burden.

La sobre perforación se perfora debajo del nivel del piso para asegurar que la cara completa de la roca sea removida hasta los límites deseados de la excavación. La sobre perforación permite a la amplitud de la onda de esfuerzo estar en su máximo en el nivel del fondo del banco.

### **2.3. Definición de Términos Básicos**

#### **Voladura**

Es la acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o de desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de explosivos. Las mismas se realizan para lograr un objetivo predeterminado, pueden ser controladas, o no, puede ser a cielo abierto, en galerías, tules o debajo del agua.

#### **Vibraciones**

Las vibraciones vienen a ser un fenómeno de transmisión de energía que se refleja en la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. La

detonación de un explosivo contenido en un taladro localizado en un macizo rocoso genera de una forma casi instantánea un gran volumen de gases a altas temperaturas y elevadas presiones.

### **Vibración por voladura**

Las voladuras generan vibraciones del terreno que pueden tener diferentes efectos sobre las estructuras de la masa rocosa (discontinuidades como fallas, diaclasas, juntas, contactos), pudiendo ocasionar deslizamientos, causando en consecuencia, efectos graves, como por ejemplo el cierre de acceso hacia otras zonas de la mina y/o afectar equipos o personal.

### **Carga Operante**

Es la cantidad máxima de explosivo (Anfo, emulsiones y búster) que detona dentro de una voladura por retardo.

### **Daño**

Es la perturbación o alteración que se origina a causa de la detonación de los explosivos al macizo rocoso circundante.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

La aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 -311 – Mina Jabalí permite la reducción de vibraciones del Municipio de Santo Domingo.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de distribución de taladros en el tajo 333 - 311 – Mina Jabalí.

Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de la carga operante en el tajo 333 -311 – Mina Jabalí.

## **2.5. Identificación de Variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

X: Nuevo Diseño de Voladura en el tajo 333 – 311 – Mina Jabalí

#### **Dimensiones**

X<sub>1</sub>: Distribución de taladros

X<sub>2</sub>: Carga Operante

### **2.5.2. Variable dependiente**

Y: Reducción de vibraciones de las voladuras en el Municipio de Santo Domingo.

## 2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Nuevo Diseño de Voladura en el tajo 333 – 311 – Mina Jabalí	La aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 – Mina Jabalí permite reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo, controlando la malla de perforación y la carga operante para ello se elaboran planos de perforación de acuerdo a las características geo mecánicas, indicando el número de taladros correspondientes, inclinación y longitud de taladros. Así mismo calculando la energía del explosivo mediante software de voladura o modelos matemáticos.	Distribución de taladros	Sección excavar	m <sup>2</sup>
				Longitud de barreno	m.
				Cantidad de taladros	Unidad
				Consumo específico	Kg/m <sup>3</sup>
				Calidad de roca	RQD
				Burden	m.
			Carga operante	Espaciamiento	m.
				Densidad del explosivo	gr/cm <sup>3</sup>
				Energía del explosivo	Joules
				Número de taladros/cada secuencia	Unidad
Secuencia de retardos	Msg.				
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Reducción de vibraciones de las voladuras en el Municipio de Santo Domingo	Cuando se realiza una explotación a cielo abierto muchas veces las voladuras superficiales deben ser bien controladas las vibraciones que produce la voladura. Cuando se ejecutan muy cerca a una población; se deben tomar en cuenta en cumplir las normas y estándares de picos de vibraciones para no afectar las viviendas y otros de la población.	Vibración	Velocidad de partícula máxima (PPV)	mm./s.
			Vibración	Frecuencia	Hz
			Vibración	Aceleración de partícula	mm./s. <sup>2</sup>

Tabla N° 3: Definición operacional de variables.

### **CAPITULO III**

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

##### **3.1. Tipo de Investigación**

La investigación según su objetivo es de carácter APLICATIVO, el estudio se ubica en un nivel de profundización descriptivo, correlacional y explicativo.

Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio (2014), en su libro: Metodología de la Investigación, explica mediante un ejemplo los tipos de investigación donde constituye un estudio descriptivo y relaciona dicha intenciones con conceptos como tiempos, marcas de equipos o magnitud, dimensiones que realizan las operaciones en una extracción (estudio correlacional), es diferente señalar por qué se tendría que un utilizar un determinado equipo para cierta cantidad de volumen y en otras operaciones tendrían que utilizar otros equipos.

##### **3.2. Métodos de Investigación**

Hay dos grandes grupos de métodos de investigación, los métodos lógicos y los empíricos. Los primeros son todos aquellos que se basan en la utilización del pensamiento en sus funciones de deducción, análisis y síntesis, mientras que los

métodos empíricos, se aproximan al conocimiento del objeto mediante su conocimiento directo y el uso de la experiencia, entre ellos encontramos la observación y la experimentación (Custodio Ruíz 2019).

Según lo mencionado vamos a establecer los métodos de investigación utilizada en la investigación, es el método lógico inductivo, sintético y de análisis, del mismo modo se empleó el método empírico mediante la observación investigativa.

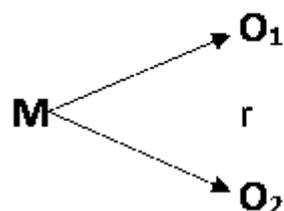
### 3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación del presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional.

Hernández Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio (2014), Metodología de la Investigación, una investigación correlacional describe relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces, únicamente términos correlacionales, otras en función de la relación causa – efecto (causales). En el caso de esta investigación las variables guardan una relación, vibración – método

El diseño que se usará es de acuerdo a los objetivos y las hipótesis con el esquema siguiente:

#### **DISEÑO CORRELACIONAL:**



**M = Muestra**

**O<sub>1</sub> = Observación 1**

**O<sub>2</sub> = Observación 2**

**r = Relación**

### 3.4. Población y muestra

#### 3.4.1 Población

Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Para la investigación la población está constituida por los Tajos de la Mina Jabalí Oeste

#### 3.4.2. Muestra

La muestra es en esencia un subgrupo de la población. Digamos que es un sub conjunto de elementos que pertenecen al conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

##### 3.4.2.1. Cálculo del Número de Muestra

Para determinar el número de muestra emplearemos el siguiente modelo matemático estadístico:

$$n = \frac{N \times Z^2 \times a \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z^2 \times a \times p \times q} \quad (I)$$

Donde:

Z: 1.96 (cuadro de distribución normal)

p: Proporción esperada (en este caso 2% = 0.02)

q: 1 – p (en este caso 1 – 0.02 = 0.98)

N: Total de la población ( N= 5)

a: Nivel de significancia (a = 0.05)

d: Precisión de la investigación (5% = 0.05)

n : Tamaño óptimo de la muestra

Reemplazando cada una de las variables en el modelo matemático

(I):

$$n = 2.385 = 2 \text{ unidades}$$

Para la investigación se consideró el Tajo 311-333

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

Se utilizará las técnicas e instrumentos de recolección de datos, considerando:

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos en la investigación fueron las utilizadas por el método de la estadística descriptiva, es decir:

- La Observación (Campo)
- Toma de datos primarios
- Toma de datos secundarios
- Entrevistas a personas, parte de la supervisión
- La clasificación de la información
- El análisis de los datos
- Medición (Gabinete)
- Evaluación de resultados
- Discusión e interpretación.

Los instrumentos utilizados para la recolección de la información de la investigación, fueron los siguientes:

- Hoja de registro y planos del proyecto minero.
- Planos geo mecánicos.
- Informes de consultoría externa.
- Mapeo geo mecánico de las labores.
- Uso de Equipos.
- Uso de gabinetes.

- Hojas de registro/ Libreta de Campo.
- Uso de PC.
- Análisis de componentes

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

Para el análisis de datos se inició con la estructuración, a través de la organización de datos y transcripción del material, iniciando el análisis del material, apoyado en programas como el Excel, para la creación de una base datos y su análisis.

Para el procesamiento y análisis de los datos tomados de las vibraciones se utilizó equipos sensores para obtener la velocidad pico de la partícula, frecuencia para analizar si estamos dentro de los estándares legales.

Así mismo se revisará la información recopilada para determinar su validez y el grado de confiabilidad.

### **3.7. Tratamiento Estadístico**

Para un primer nivel de análisis, se ha aplicado técnicas propias de la estadística descriptiva, como por ejemplo el cálculo de las frecuencias absolutas y relativas, la elaboración de tablas de contingencia, de histogramas y de diagramas circulares. Estas además, de facilitar la ordenación y comparación de los datos, nos permiten conocer los parámetros de las muestras con las que trabajamos con respecto a los nuevos parámetros obtenidos. Los recuentos necesarios para la elaboración de estos cálculos se han realizado con el programa Excel.

### **3.8. Selección, Validación y Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación**

#### **Selección**

Los datos que se consideró para la elaboración de la presente tesis de investigación se obtuvieron de una base de datos y toma de datos con equipos actualizados que controlan las vibraciones en voladuras.

### **Validación**

Los datos para obtención y análisis de reducción de vibraciones son válidos, debido a que se obtuvieron documentos con el visto bueno y firma de los ingenieros del área de la Mina Jabalí.

### **Confiabledad**

Los datos obtenidos para la reducción de las vibraciones, cuenta con alta confiabilidad, pues estos datos fueron tomados varias veces considerando que las voladuras varían de acuerdo al tipo de roca y energía del explosivo.

## **3.9. Orientación ética**

La presente tesis de investigación es de autoría propia y original, ya que me encuentro laborando en la Mina Jabalí, el desarrollo de la investigación están basados en investigaciones, observaciones, toma de datos de vibraciones tanto en las voladuras de los tajos 333 – 311 y en la ciudad del Municipio Santo Domingo; así mismo e informes del proyecto de la Mina Jabalí para la recopilación de información, los cuales son citados y mencionados en el desarrollo de la tesis, de la misma manera las fuentes de las cuales la obtención de los datos estadísticos, imágenes y cuadros.

Las principales fuentes escritas que contribuyeron con información para la elaboración del proyecto de investigación son:

- Evaluación Conceptual Proyecto Mina Subterránea Jabalí, del área de Ingeniería y Planeamiento, (2016).

- Informe Estudio Geomecánico y Dimensionamiento del Minado Subterráneo del Proyecto Mina Subterránea Jabalí, DCR Ingenieros S.R. Ltda. Geomecánica en Minería y Obras Civiles, (2016).
- Estudio Hidrogeológico - Hidrológico del proyecto Jabalí Oeste Subterráneo, Santo Domingo, Chontales. Geólogos y Geo Físicos S.A., (2017).

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del Trabajo de Campo**

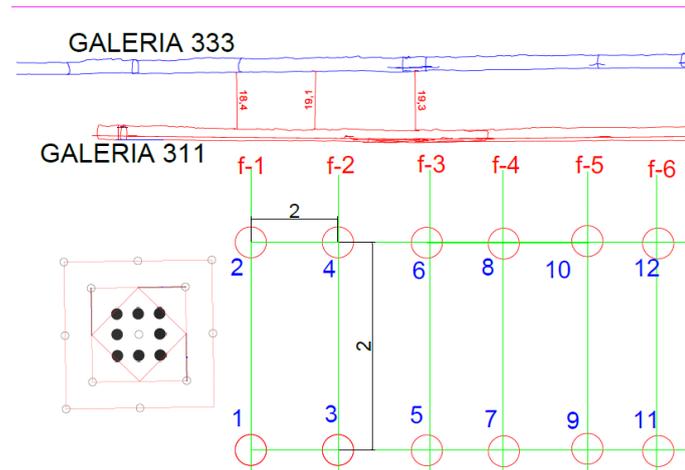
##### **4.1.1. Estudio de los Niveles de Vibración**

Respecto al estudio de los niveles de vibraciones reflejados en las velocidades pico partículas para la validación del nuevo diseño de voladura en la Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining y sabiendo que la señal de vibraciones producida por una voladura, consiste en un número discreto de paquetes de ondas, cada uno de estos corresponde a cargas o grupos de cargas detonando en un determinado tiempo. Es así que solo la voladura de los tajos registra las VPP más altos y por lo cual se decidió recopilar la siguiente información del tajo 333-311:

- Velocidad pico partícula generados por los disparos
- Carga operante del diseño de voladura
- Distribución de taladros (burden y espaciamiento)
- Ubicación de los puntos de monitoreo con respecto al tajo
- Explosivos y accesorios utilizados

- Fragmentación obtenida de cada diseño de voladura

Figura N° 19: Diagrama Original de Perforación en el tajo 333-311



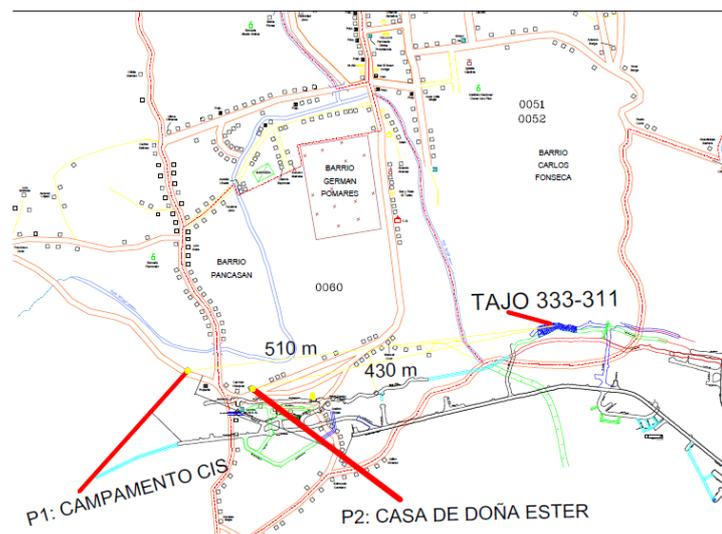
Fuente: Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining

#### 4.1.2. Trabajos de monitoreo

##### 4.1.2.1. Ubicación del equipo

Se determinó dos puntos estratégicos en superficie (municipio de Santo Domingo) de acuerdo a su accesibilidad y cercanía para realizar el monitoreo, en nuestro caso uno de ellos estaba dentro del campamento y el otro en una casa de un poblador (Casa de doña Ester).

Figura N° 20: Ubicación del equipo sismógrafo respecto al tajo 333-311.



Fuente: Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining

#### 4.1.2.2. Instalación del Geófono

La instalación del geófono en el municipio de Santo Domingo se realizó en dos puntos, el punto 01 denominado campamento CIS a una distancia promedio de 510 metros y el punto 02 denominado casa de doña Ester a una distancia promedio de 430 metros del tajo 333-311, ambos fueron direccionados hacia el tajo y adheridos en el suelo con tres patas de acero cuyo objetivo es dar estabilidad al instrumento, además el micrófono fue direccionado en la misma alineación, se obtuvieron las siguientes lecturas.

### 4.2. Presentación, Análisis e Interpretación de Resultados

#### 4.2.1. Presentación de los Datos de Campo

##### 4.2.1.1. Diseño Convencional

El burden fue calculado por el modelo de Langefors como se puede apreciar,

Figura N° 21: Cálculo del burden modelo Langefors.

MODELO MATEMATICO DE LANGEFORS		BURDEN PRACTICO	
$B_{max} = \frac{D}{33} \left[ \frac{\delta e \cdot RWS}{C \cdot f \cdot \frac{S}{B}} \right]^{1/2}$		$B = B_{max} - e - (db \cdot H)$	
DATOS DE ENTRADA		DATOS DE ENTRADA	
D= Diámetro de taladro (mm)	89	H = Altura de banco (m)	18
pe= Densidad de explosivo (gr/cc)	0.8	e = Error de empate (0.02m)	0.02
RWS= Potencia relativa por peso del explosivo	0.97	db = Desviación de los taladros (0.023m/m)	0.023
C= Constante de roca (m)	0.75		
f= Factor de fijación	0.9		
S/B = Factor de espaciamento / burden	1.75		
<b>B<sub>máx</sub> = Burden máximo (m)</b>	<b>2.19</b>	<b>B = Burden práctico (m)</b>	<b>1.75</b>

Considerando desviaciones

De acuerdo a los requerimientos de la explotación utilizando taladros largos se elige la malla cuadrada.

Observando que el burden máximo es igual a 2.19 m., se determina que la malla de perforación y voladura será de 2.00 m x 2.00 m.

Este diseño de voladura que inicialmente se estuvo empleando en la explotación de los tajos, y para lo cual en el caso específico del tajo 333-311 en las primeras filas se tomó la siguiente información:

*Tabla N° 4: Distribución de taladros diseño inicial tajo 333-311.*

<b>Distribución de Taladros</b>				
<b>Fila</b>	<b>N°Tal./Disp.</b>	<b>Ø Tal.</b>	<b>Burden</b>	<b>Esp.</b>
<b>Fila 01</b>	2	89mm.	2 m.	2m.
<b>Fila 02</b>	4	89mm.	2 m.	2m.
<b>Fila 03</b>	2	89mm.	2m.	2m.
<b>Fila 04</b>	3	89mm.	2m.	2m.
<b>Fila 05</b>	3	89mm.	2m.	2m.

*Tabla N° 5: Distribución de explosivos diseño inicial tajo 333-311.*

<b>Distribución de Explosivos</b>					
	<b>Carga Lineal</b>	<b>Cebo</b>	<b>Taco</b>	<b>Material</b>	<b>Explosivo carga operante</b>
<b>Fila 01</b>	3m.	Emulex63X400	50cm.	Arena fina	18.02Kg/ret.
<b>Fila 02</b>	3m.	Emulex63X400 38X400	50cm.	Arena fina	14.87 kg/ret.
<b>Fila 03</b>	3m.	Emulex63X400 38X400	50cm.	Arena fina	15.38 kg/ret.
<b>Fila 04</b>	4m.	Emulex63X400 38X400	50cm.	Arena fina	15 Kg./ret.
<b>Fila 05</b>	4m.	Emulex63X400 38X400	50cm.	Arena fina	12.86 kg/ret.

Estos datos se pueden observar en los siguientes gráficos:

Fila 01:

Figura N° 22: Diseño de carguío taladros negativos fila 01 - tajo 333-311.

COLUMNA DE CARGUIO TALADROS NEGATIVOS.

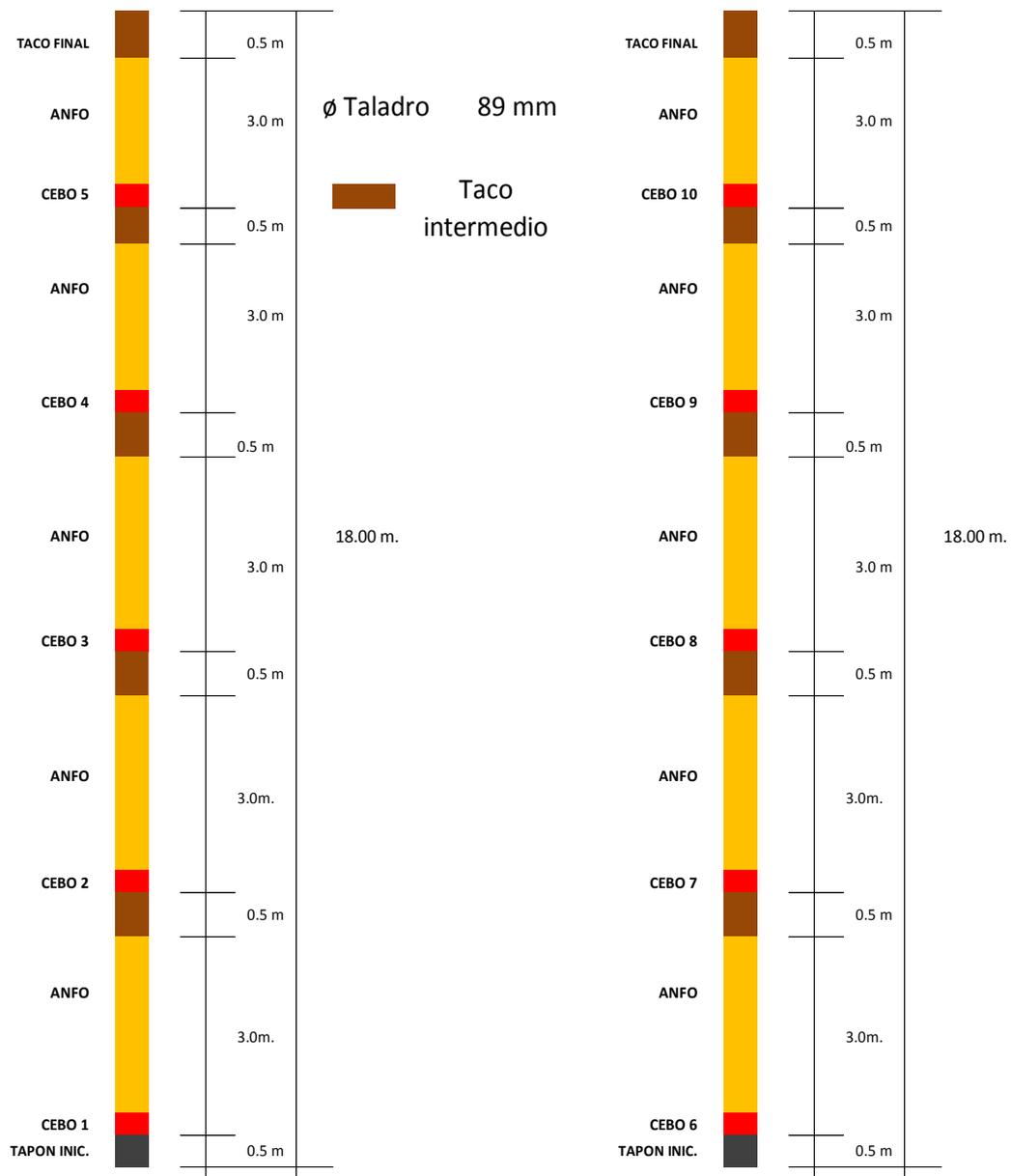


Tabla N° 6: Distribución de explosivos en fila 01 - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJE0 (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAUURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	GUJAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
31/05/2019	NOCHE	2	2	3	18	FILA-1	2	10	7	0	10	10	1	180	18.03

Fila 02:

Figura N° 23: Diseño de carguío taladros negativos fila 02 - tajo 333-311.

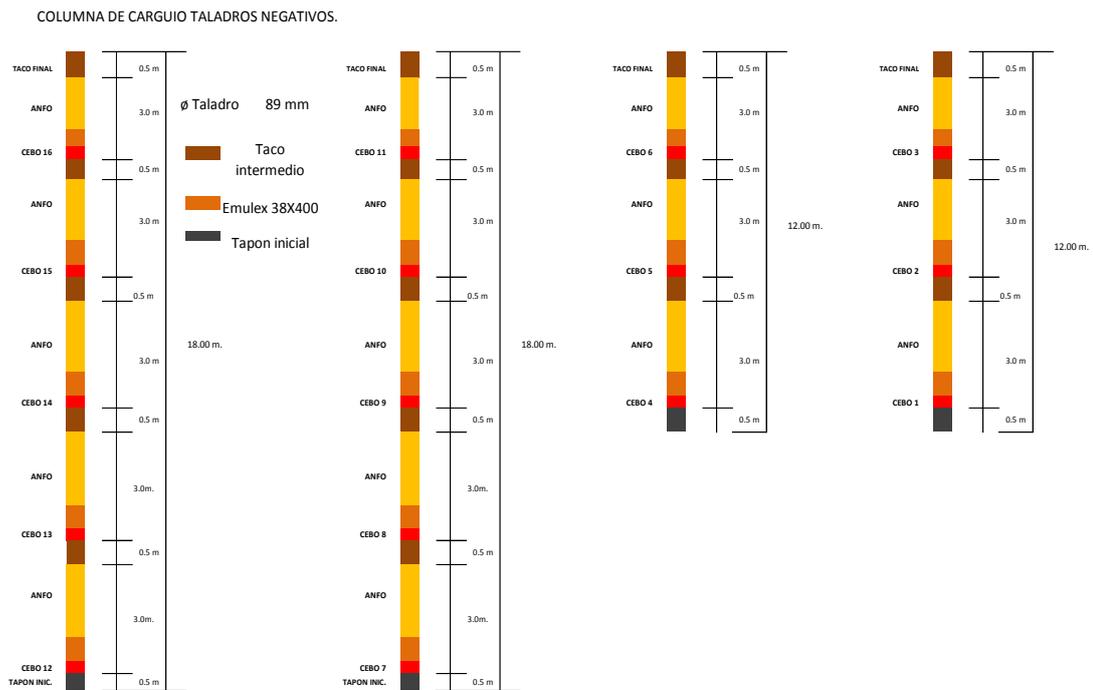


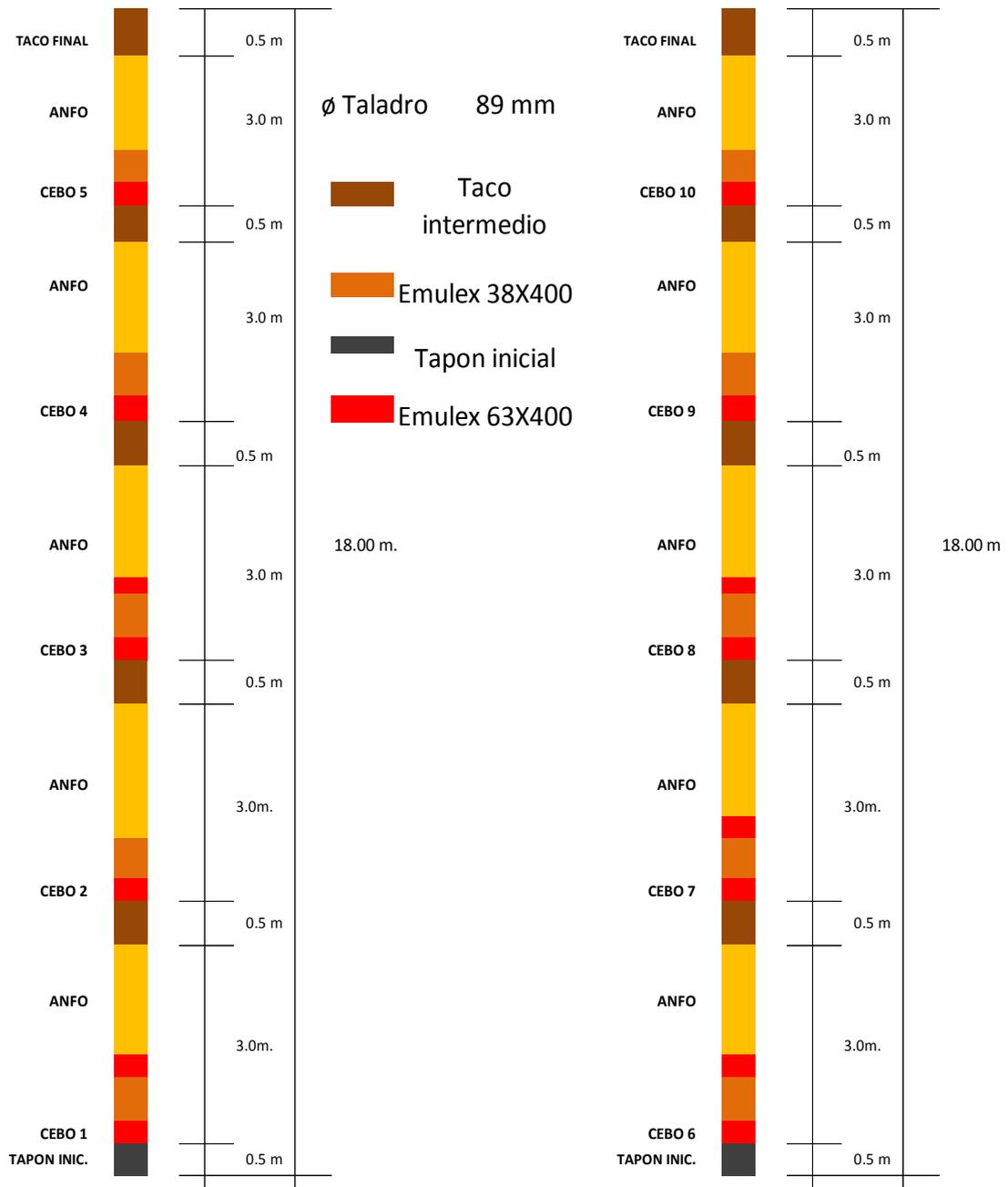
Tabla N° 7: Distribución de explosivos en fila 02 - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJE0 (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAUURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	GUJAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
01/06/2019	NOCHE	2	2	3	18	FILA-2	4	16	6	48	15	16	1	238	14.87

Fila 03:

Figura N° 24: Diseño de carguío taladros negativos fila 03 - tajo 333-311.

COLUMNA DE CARGUIO TALADROS NEGATIVOS.





## Fila 05:

Figura N° 26: Diseño de carguío taladros negativos fila 05 - tajo 333-311.

COLUMNA DE CARGUIO TALADROS NEGATIVOS.

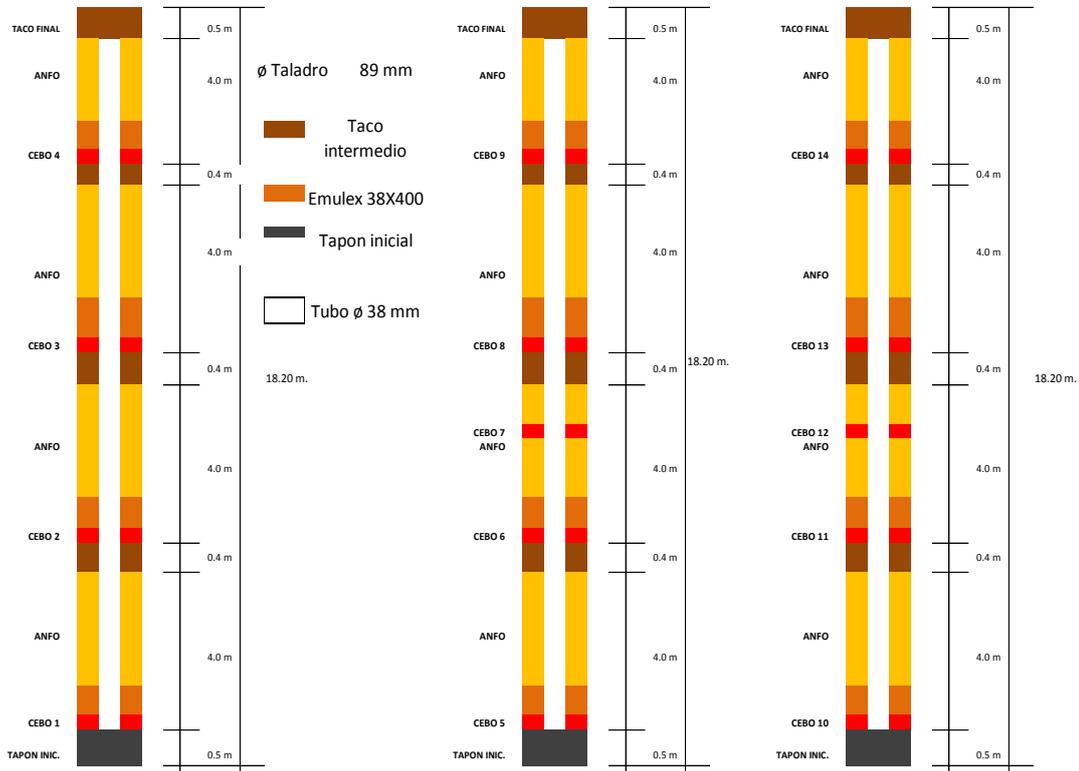


Tabla N° 10: Distribución de explosivos en fila 05 - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEJO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAURO	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
04/06/2019	NOCHE	2	2	3	18	FILA-5	3	14	4	48	0	14	1	180	12.86

#### 4.2.1.2. Nuevo Diseño

En este nuevo diseño se redujo el burden a 1 metro y el espaciamiento a 1.5 metros, esto de acuerdo a los resultados obtenidos con el diseño inicial y además porque se plantea emplear la malla triangular, con lo cual se incrementó el número de taladros por fila, pero también dio una posibilidad de desacoplar la carga aún más.

Se detalla el diseño de carga empleado para reducir la carga operante, así como también el burden y espaciamiento de cada fila.

##### **FILA 14:**

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros, los dos primeros taladros se cargó a diámetro completo y los dos restantes con carga desacoplada.

En la figura se aprecia la distribución de carga lineal que en los 2 primeros taladros son de 2 metros de columna por cebo (Emulex 38X400) y se agregó Emulex 63X400 para aumentar el poder de iniciación, en cada uno de estos taladros se tiene 8 cebos con tacos intermedios de 30 cm de arena fina. En los siguientes dos taladros que están cercanos a las cajas se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con 4 metros de columna de carga y tacos intermedios de 40 cm.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos utilizados en total de explosivos para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 9.52 kg/retardo.

Figura N° 27: Diseño de carguío taladros negativos fila 14 - tajo 333-311.

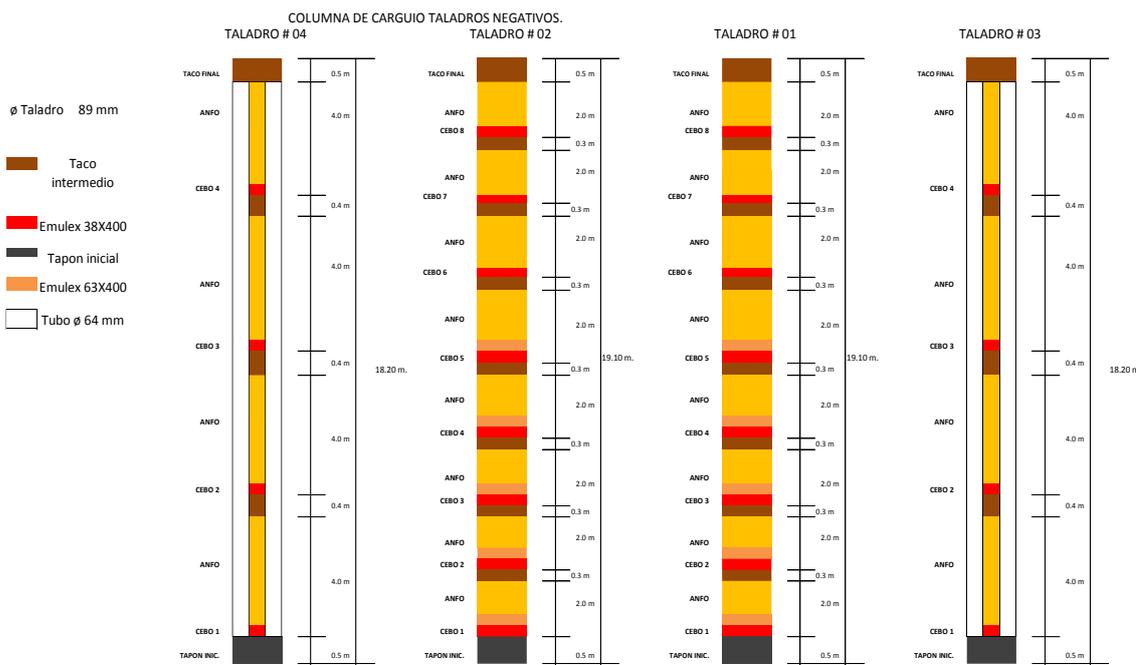


Tabla N° 11: Distribución de explosivos en fila 14 - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAURA	N° TALADRO	N° DE CEBOS	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	DET. DUALES (und) 24 MTS	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
16/06/2019	NOCHE	1	1.5	3	18	FILA-14	4	24	8	22	10	20	4	1	228	9.52

**FILA 15:**

Se disparó 3 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros, estos tres taladros se desacoplan porque debido a que se redujo el burden se corre el riesgo de tener muchos finos en la fragmentación, siendo así que esta fila es como una ayuda de la fila anterior.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que esta 4 metros de columna por cada cebo (Emulex 38X400) y se agrega unidades de Emulex 63X400 en el intermedio de los taladros para aumentar la potencia de iniciación, se usa un tubo de

64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también de los kg total de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 12.44 kg/retardo.

Figura N° 28: Diseño de carguío taladros negativos fila 15 - tajo 333-311.

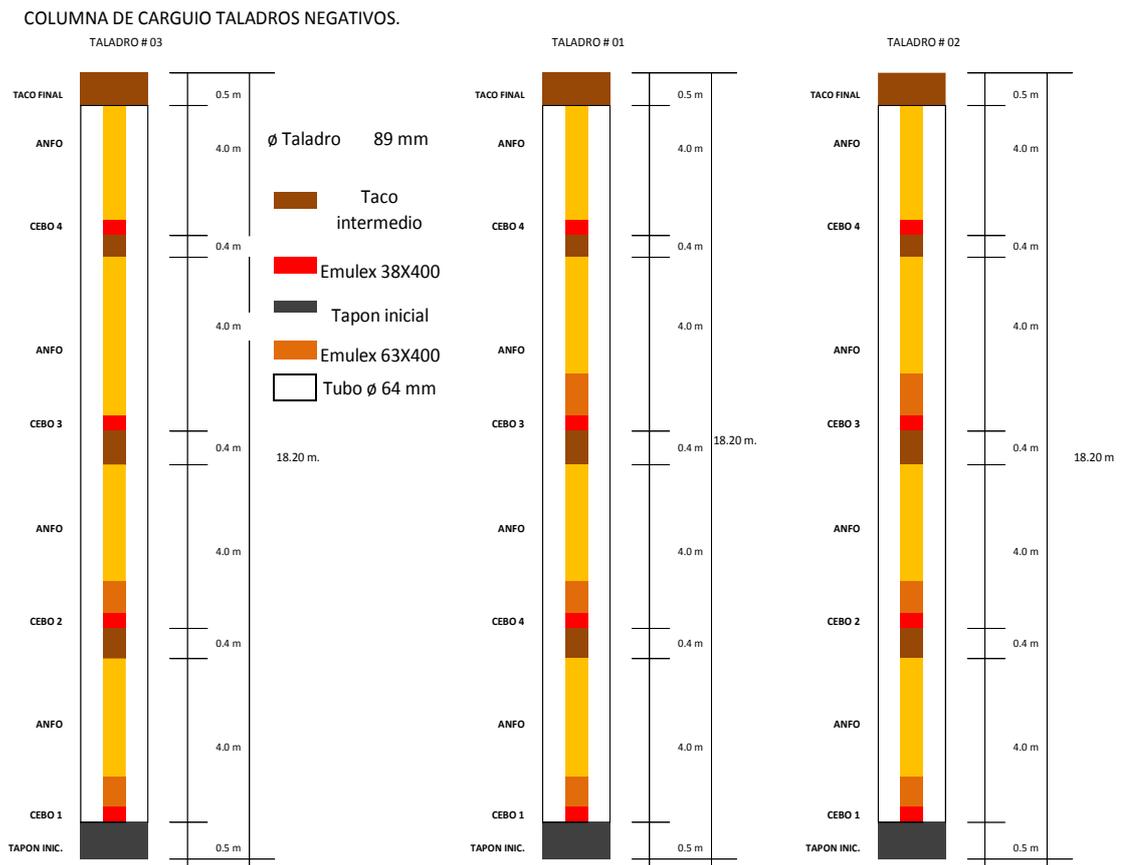


Tabla N° 12: Distribución de explosivos en fila 15 - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	DET. DUALES (und) 24 MTS	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
17/06/2019	NOCHE	1	15	3	18	FILA-15	3	12	5	12	8	8	4	1	149	12.44

**FILA 16:**

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros, los dos primeros taladros se cargó a diámetro completo y los dos restantes con carga desacoplada.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que en los 2 primeros taladros son de 2 metros de columna por cebo (Emulex 38X400) y se agregó Emulex 63X400 para aumentar el poder de iniciación, en cada uno de estos taladros se tiene 8 cebos con tacos intermedios de 30 cm de arena fina. En los siguientes dos taladros que están cercanos a las cajas se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con 4 metros de columna de carga y tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

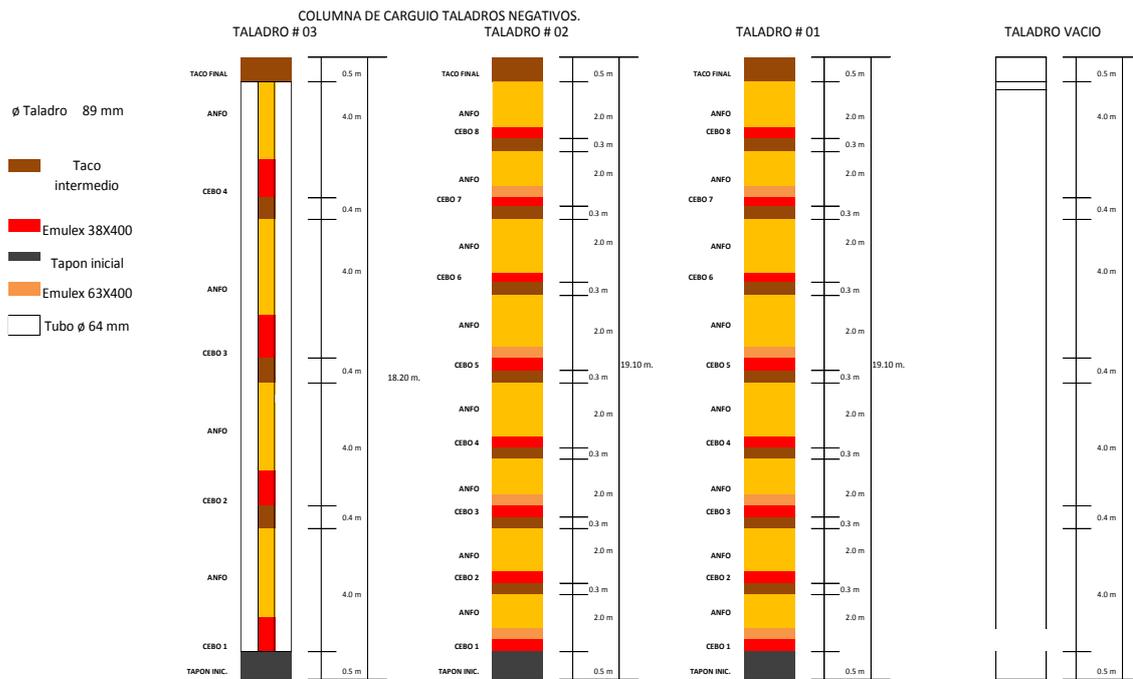
Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también de los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 7.48 kg/retardo.



carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con 4 metros de columna de carga y tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 8.7 kg/retardo.

Figura N° 30: Diseño de carguío taladros negativos fila 17 - tajo 333-311.



### FILA 17A:

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros que acompañaron a la fila anterior, por lo cual todos estaban desacoplados.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que esta 4 metros de columna por cada cebo (Emulex 38X400) y se agrega unidades de Emulex 63X400 en el intermedio de los taladros para aumentar la potencia de iniciación, se usa un tubo de

64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 7.98 kg/retardo.

Figura N° 31: Diseño de carguío taladros negativos fila 17A - tajo 333-311.

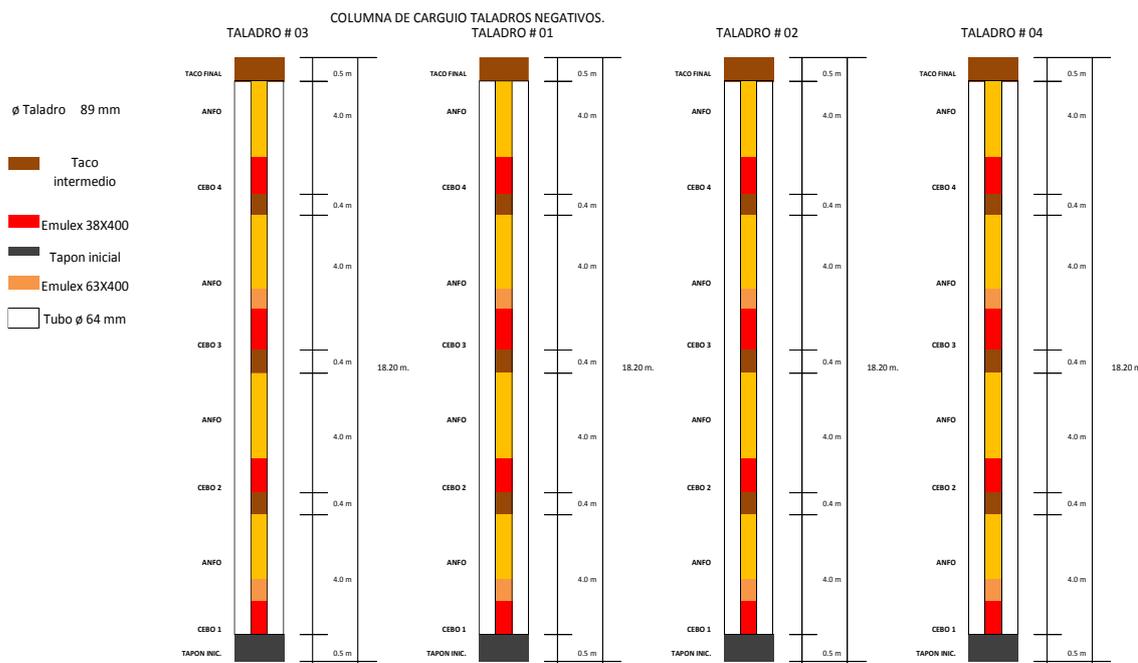


Tabla N° 14: Distribución de explosivos en fila 17 y fila 17A - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUJALES (und)	DET. DUJALES (und) 24 MTS	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
18/06/2019	NOCHE	1	1.5	3	18	FILA-17	4	20	6	20	8	16	4	1	174	8.70
18/06/2019	NOCHE	1	1.5	3	18	FILA-17-A	4	16	4	27	8	14	2	0	128	7.98

**FILA 18:**

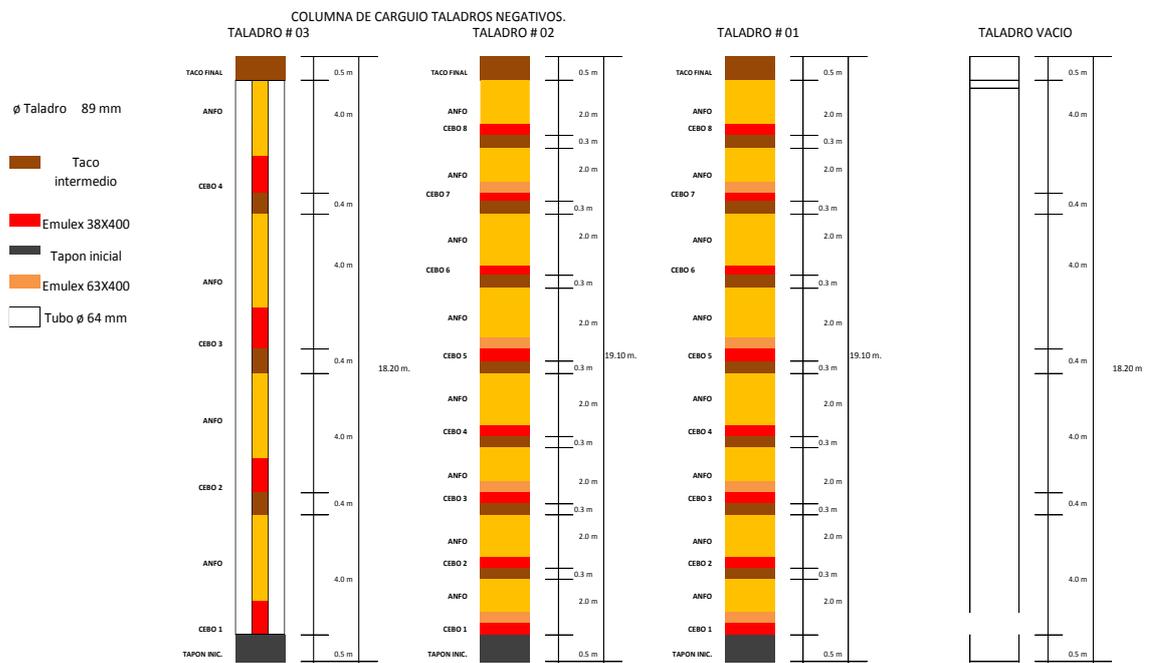
Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros, de los cuales solo 3 están cargados

y hay uno que está cercano a la caja techo que trabaja como taladro de alivio y además limita la sobre rotura.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que en los 2 primeros taladros son de 2 metros de columna por cebo (Emulex 38X400) y se agregó Emulex 63X400 para aumentar el poder de iniciación, en cada uno de estos taladros se tiene 8 cebos con tacos intermedios de 30 cm de arena fina. En el siguiente taladro se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con 4 metros de columna de carga y tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 8.70 kg/retardo.

Figura N° 32: Diseño de carguío taladros negativos fila 18 - tajo 333-311.



### FILA 18A:

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros que acompañaron a la fila anterior, por lo cual todos estaban desacoplados.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que esta 4 metros de columna por cada cebo (Emulex 38X400) y se agrega unidades de Emulex 63X400 en el intermedio de los taladros para aumentar la potencia de iniciación, se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 9.04 kg/retardo.

Figura N° 33: Diseño de carguío taladros negativos fila 18A - tajo 333-311.

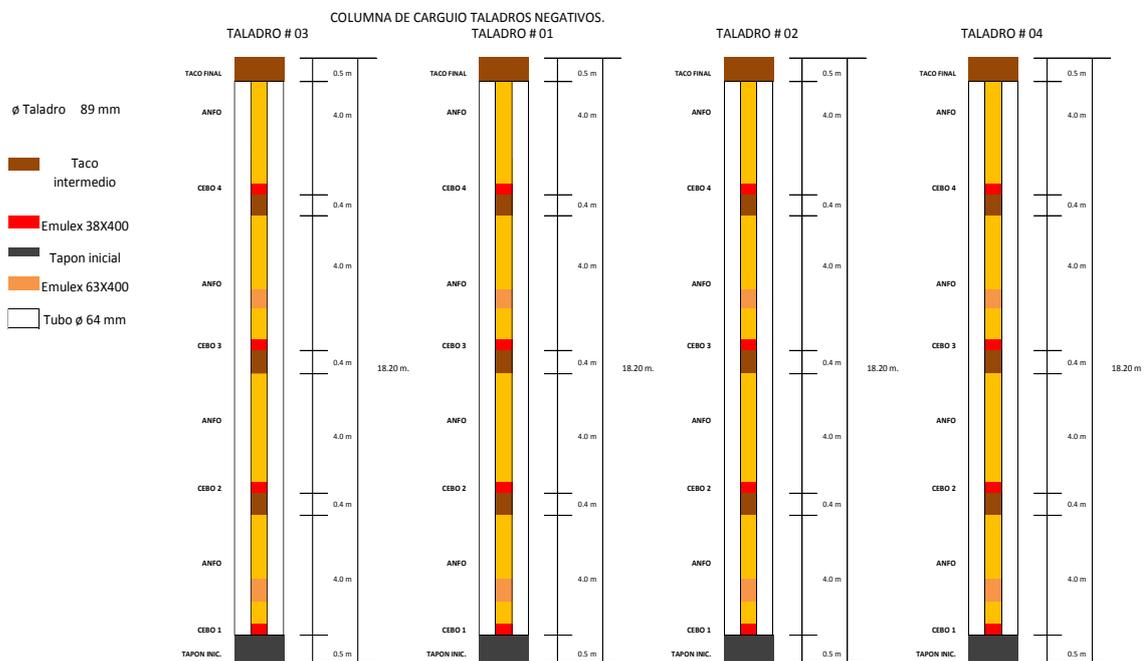


Tabla N° 15: Distribución de explosivos en fila 18 y fila 18A - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAJURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	DET. DUALES (und) 24 MTS	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
21/06/2019	DIA	1	1.5	3	18	FILA-18	4	20	6	20	8	16	4	1	174	8.70
21/06/2019	DIA	1	1.5	3	18	FILA-18-A	4	16	5	12	8	14	2	0	145	9.04

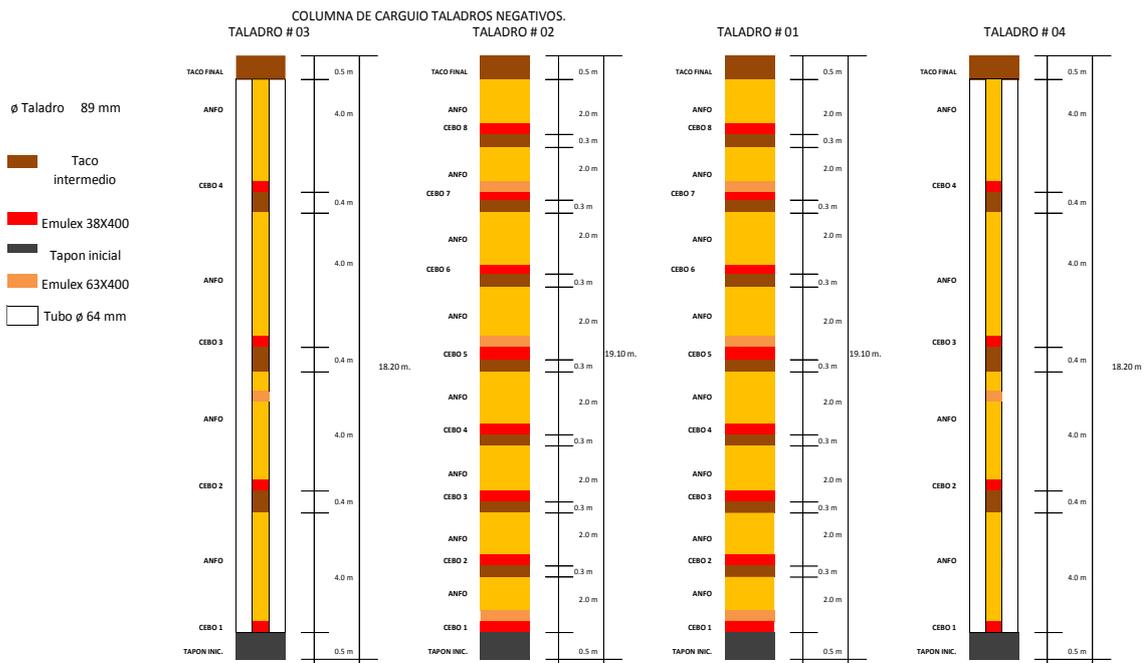
### FILA 19:

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros, de los cuales todos fueron cargados para generar un poco más de sobre rotura hacia la caja techo.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que en los 2 primeros taladros son de 2 metros de columna por cebo (Emulex 38X400) y se agregó Emulex 63X400 para aumentar el poder de iniciación, en cada uno de estos taladros se tiene 8 cebos con tacos intermedios de 30 cm de arena fina. En los otros 2 taladros se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con 4 metros de columna de carga y tacos intermedios de 40 cm de arena fina.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 10.46 kg/retardo.

Figura N° 34: Diseño de carguío taladros negativos fila 19 - tajo 333-311.



### FILA 19A:

Se disparó 4 taladros de 89 mm de diámetro con un burden de 1 m y espaciamiento de 1.5 metros que acompañaron a la fila anterior, por lo cual todos estaban desacoplados.

En la primera figura se aprecia la distribución de carga lineal que esta 4 metros de columna por cada cebo (Emulex 38X400), se usa un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar la carga, el carguío se realiza en el interior del tubo con tacos intermedios de 40 cm de arena fina. En esta fila no se adiciona emulex 63X400.

Además, se muestra una tabla detallada de los explosivos y accesorios utilizados, así como también los kilogramos de explosivos utilizados para determinar la carga operante, que en esta fila fue de 11.74 kg/retardo.

Figura N° 35: Diseño de carguío taladros negativos fila 19A - tajo 333-311.

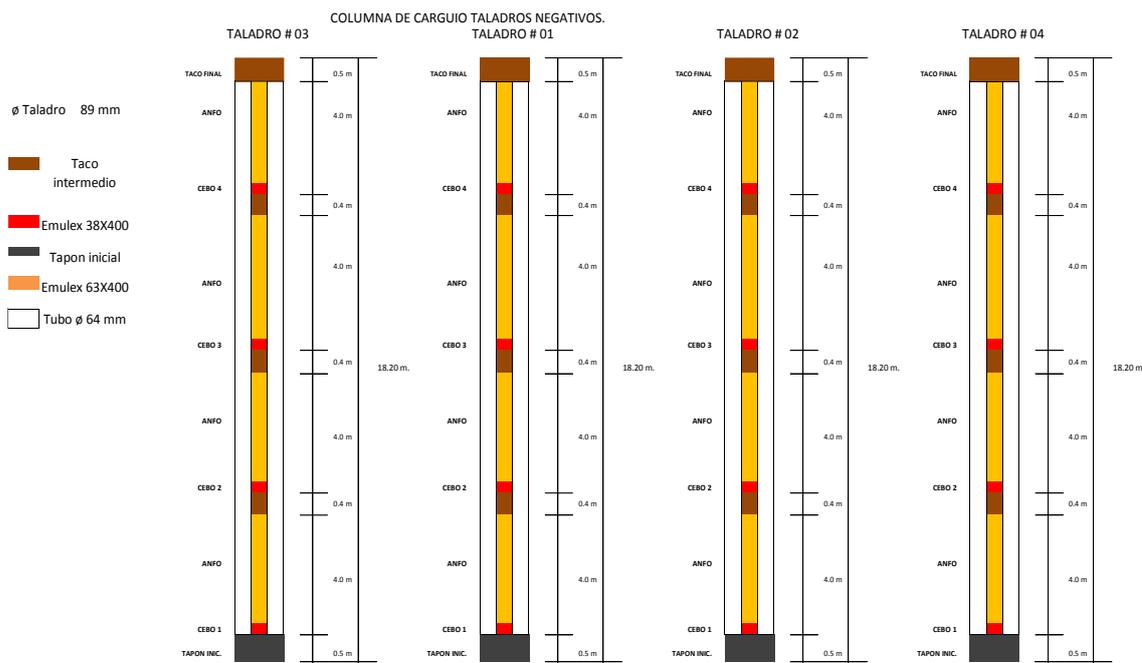


Tabla N° 16: Distribución de explosivos en fila 19 y fila 19A - tajo 333-311.

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLADURA	N° TALADRO	N° DE CEBOS	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	DET. DUALES (und) 24 MTS	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)
23/06/2019	DIA	1	1.5	3	18	FILA-19	4	24	9	24	8	20	4	1	251	10.46
23/06/2019	DIA	1	1.5	3	18	FILA-19-A	4	16	7	24	0	12	4	0	188	11.74

#### 4.2.2. Análisis e Interpretación de Resultados

Se obtuvo los siguientes resultados en el diseño de la voladura convencional. Cabe resaltar que solo se disparaba una fila por mantener un nivel de perturbación en superficie mínima que se reflejaba en los valores de vibración que arrojaba el monitoreo.

El vector pico suma (VPS) estaba por encima de 5 mm/s en el punto de monitoreo N° 02 (CASA DE DOÑA ESTER) que es el punto más cercano respecto al tajo y en el punto de monitoreo N° 01 (CAMPAMENTO CIS) que está más alejado, también presentó VPS cercanos y por encima de 2

mm/s, que significaba que se encontraba por encima de 1 mm/s que era el óptimo para dicho punto.

*Tabla N° 17: Resultados de monitoreo de diseño inicial - tajo 333-311.*

					Campamento CIS (450-510mts)	Casa Doña Ester (400-450mts)
FECHA	N° Fila	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Carga Operante kg/retardo	VPS (mm/s)	VPS (mm/s)
01/06/2019	F1	2	2	18.03	2.294	10.48
02/06/2019	F2	2	2	14.87	2.451	7.365
03/06/2019	F3	2	2	15.38	1.781	11.08
04/06/2019	F4	2	2	15.00	1.86	6.142
05/06/2019	F5	2	2	12.86	1.956	7.034

Con el nuevo diseño el burden, espaciamiento, cantidad de taladros, kilogramos de explosivos por retardo que se ha empleado La carga operante se redujo a valores cercanos a 10 kg/retardo y se obtuvo vectores pico suma (VPS) que se mantenían por debajo de 5 mm/s en el punto CASA DE DOÑA ESTER y valores no muy alejados de 1 mm/s en el punto CAMPAMENTO CIS. y que arrojaron los VPS se muestra en la siguiente tabla:

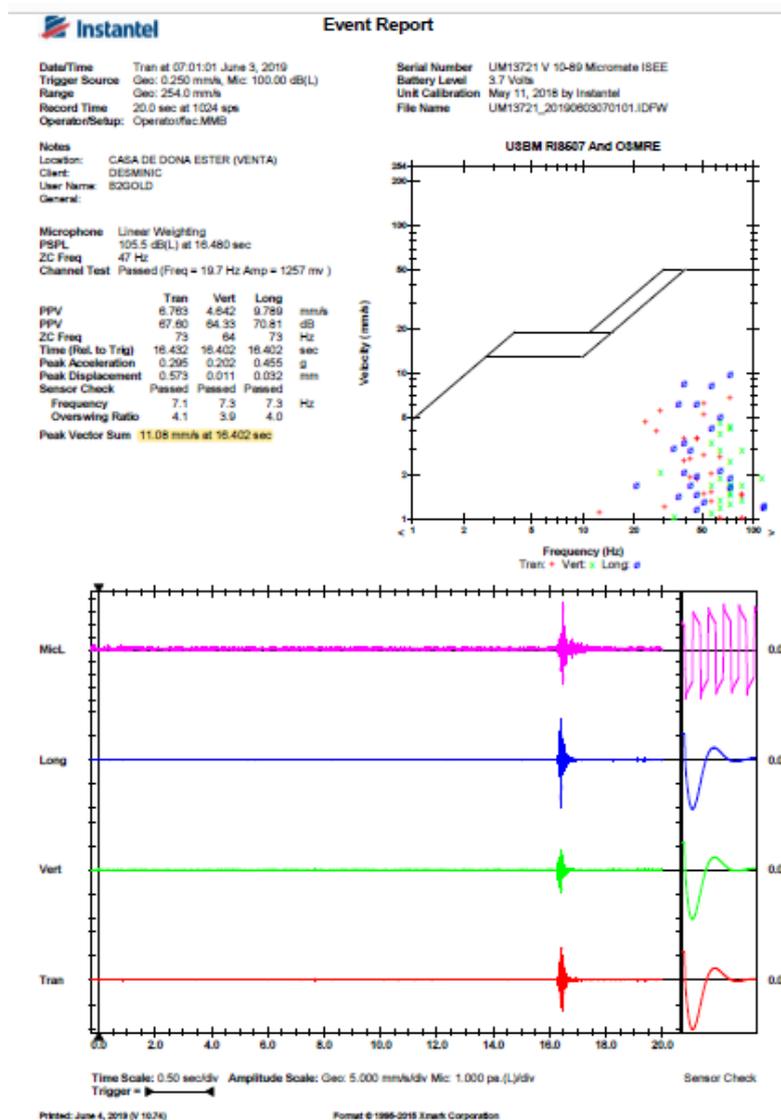
*Tabla N° 18: Resultados de monitoreo del nuevo diseño de voladura - tajo 333-311.*

					Campamento CIS (450-510mts)	Casa Doña Ester (400-450mts)
FECHA	N° Fila	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Carga Operante kg/retardo	VPS (mm/s)	VPS (mm/s)
17/06/2019	FILA -14	1	1.5	9.52	0.453	2.73
18/06/2019	FILA-15	1	1.5	12.44	0.892	3.476
	FILA-16	1	1.5	7.48		
01/01/1900	FILA-17	1	1.5	8.70	0.828	4.287
	FILA-17-A	1	1.5	7.98		
21/06/2019	FILA-18	1	1.5	8.70	1.002	4.387
	FILA-18-A	1	1.5	9.04		
23/06/2019	FILA-19	1	1.5	10.46	1.718	8.139
	FILA-19-A	1	1.5	11.74		

Cada uno de los disparos que se monitorearon, al final de la descarga y procesamiento de datos se tenía un reporte como se muestra en la imagen, el cual contenía datos de entrada (calibraciones para monitoreo a campo lejano) y datos de salida (valores captados por el geófono). De todo esto lo

que resume el resultado que se tenía de la voladura era el Peak Vector Sum (Vector pico suma) expresado en mm/s, es este valor que se tomó en la elaboración de las tablas anteriores.

Figura N° 36: Registro emitido por el sismógrafo en el tajo 333-311



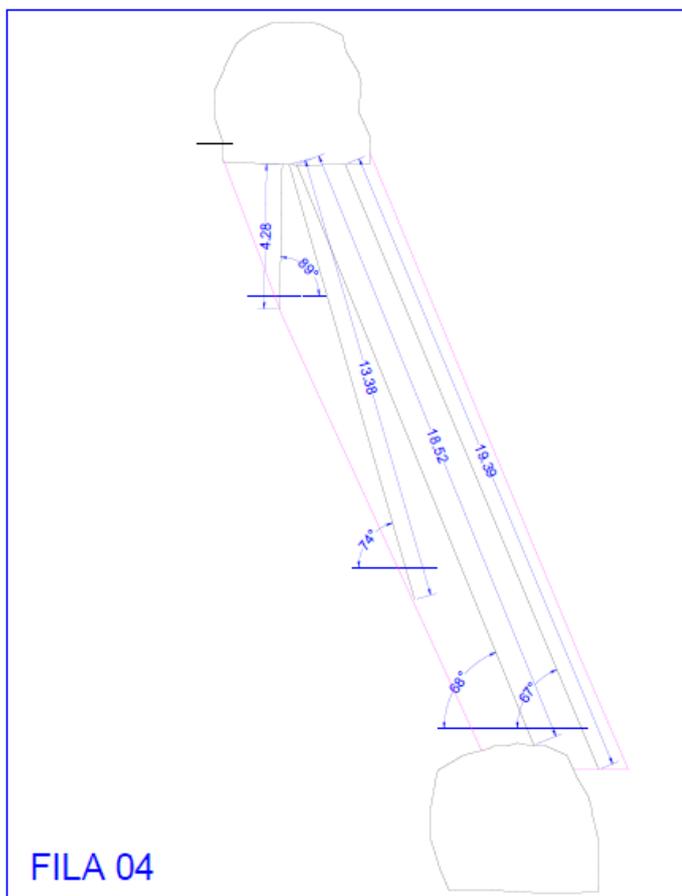
Fuente: Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining

Uno de los problemas que se tenía que eliminar del diseño inicial de voladura, fue que el disparo de una fila no dejara pilares pegados a la caja piso, el cual obligaba a la fila siguiente a realizar taladros adicionales al

diseño para poder completar la rotura del mineral. Pues esto significaba más metros perforados por tonelada rota y demoras en el ciclo de minado.

Uno de los resultados que se tubo al desacoplar la carga a 2 metros de columna y reducir el burden a 1 metro, fue eliminar estos pilares y por el contrario dar una rotura que cumplía con la producción diaria estipulada.

*Figura N° 37: Corte en sección de fila 04 donde se evidencia adición de taladros para recuperar el cuerpo dejado del disparo anterior.*



*Fuente: Unidad Operativa Jabalí - Compañía Minera Calibre Mining*

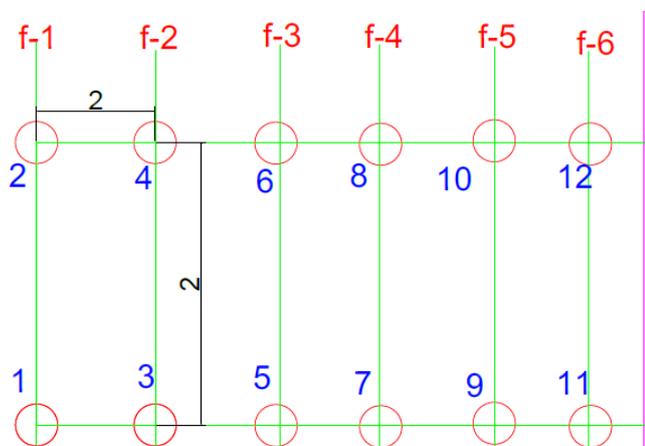
La mayoría de los registros emitidos por el sismógrafo, grabaron los efectos de las vibraciones en unidades de velocidad de partícula, aunque este parámetro es usado desde hace muchas décadas es aún un concepto de difícil entendimiento. Otra manera de cuantificar la vibración en un terreno,

es el desplazamiento y la aceleración de la partícula. Esta última es raramente usada, pero juega un papel importante en la evaluación de los efectos de las vibraciones.

Evaluar el diseño inicial de voladura en el tajo 333-311 y su incidencia en la generación de los picos más altos de vibraciones registrados a campo lejano y además la deficiente rotura nos permitió determinar que se tenía que modificar dos variables las cuales son:

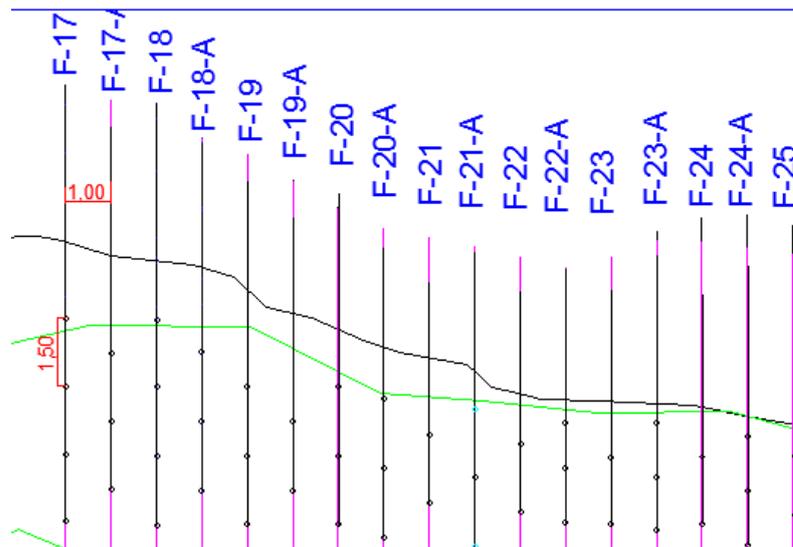
La distribución de taladros por fila, que en un inicio era a un espaciamiento 2 y con un burden de 2 metros como se puede apreciar en la siguiente imagen.

*Figura N° 38: Burden y espaciamiento diseño inicial tajo 333-311.*



Luego se pasó a reducir el burden a 1 metro y el espaciamiento a 1.50 metros como se puede apreciar:

Figura N° 39: Burden y espaciamiento del nuevo diseño tajo 333-311.



El segundo punto a cambiar era el diseño de carguío, que en un inicio era entubar los taladros de 89 mm de diámetro con tubos de 38 mm de diámetro y poner la carga en el espacio vacío entre el tubo y el taladro, lo cual trajo inconvenientes al proceso de carguío (no se cargaba uniformemente) y al momento de introducir el cebo, éste muchas veces no llegaba a la altura adecuada (se atascaba).

El nuevo diseño se centraba en cargar los taladros de la fila principal a su diámetro completo, pero con la limitante de solo 2 metros para mantener la carga operante debajo de 10 kg por retardo y que los taladros de la fila intermedia (ayudas) se cargaban en el interior en un tubo de 64 mm de diámetro para desacoplar y mantener los 10 kg por retardo la longitud de la columna de carga era máximo 4 metros.

### 4.3. Prueba de Hipótesis

#### 4.3.1. Hipótesis General

Se planteó la siguiente hipótesis” La aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 -311 – Mina Jabalí permite la reducción de vibraciones del Municipio de Santo Domingo.”

Tal cómo se muestra en los resultados existe una reducción en las vibraciones como sucede en el P1 (CAMPAMENTO CIS) de un vector pico suma de 2.45 mm/s, con el nuevo diseño de voladura se obtiene un VPS de 0.45 mm/s (en su valor más mínimo). En el P2 (CASA DE DOÑA ESTER) de un VPS de 11.08 mm/s que significó el máximo valor obtenido se pasó a un VPS de 2.73 mm/s que mostraba una menor perturbación en superficie a comparación de los resultados iniciales.

#### **4.3.2. Hipótesis Específica**

##### **Describir la primera hipótesis específica**

Se planteó lo siguiente: “ Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de distribución de taladros en el tajo 333 -311 – Mina Jabalí.”

La reducción de las vibraciones se obtuvo con la disminución del burden y espaciamiento de un valor de 2 metros para el diseño inicial a 1 metro de burden y 1.5 metros de espaciamiento para el nuevo modelo que significó una mejor distribución de los taladros a perforar.

##### **Describir la segunda hipótesis específica**

Se planteó lo siguiente: “Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de la carga operante en el tajo 333 -311 – Mina Jabalí.”

En esta parte se redujo los kilogramos de explosivo/retardo con la disminución de columna de carga de 3 metros a diámetro completo del

taladro (89mm) a 2 metros. Así como también de 4 metros de columna de carga alrededor de un tubo de 38 mm de diámetro (Carga desacoplada) a 4 metros de columna de carga dentro de un tubo de 64 mm de diámetro. El resultado que se obtuvo no solo fue la reducción del nivel de vibraciones sino que también una mejor rotura del mineral por la mejor distribución de carga que paso de 18.03 kg/retardo (su máximo) a 7.48 kg/retardo (su mínimo).

#### **4.4. Discusión de resultados**

Relacionando el título de la investigación “Reducción de las Vibraciones del Municipio de Santo Domingo con la Aplicación de un Nuevo Diseño de Voladura del tajo 333 – 311 – Mina Jabalí”, existen resultados favorables ya que en las voladuras estándar se tenía vibraciones de 2.294 mm/s , 2.451 mm/s, 1.781 mm/s, 1.860 mm/s y 1.956 mm/s en el P1 (CAMPAMENTO CIS), del mismo modo 10.480 mm/s, 7.365 mm/s, 11.080 mm/s, 6.142 mm/s y 7.034 mm/s en el P2 (CASA DE DOÑA ESTER), que significaba valores elevados para ambos puntos y con el nuevo diseño de voladura se tiene menores valores como sigue: 0.453 mm/s, 0.892 mm/s, 0.828 mm/s, 1.002 mm/s y 1.718 mm/s en el P1, de igual forma 2.730 mm/s, 3.476 mm/s, 4.287 mm/s, 4.387 mm/s, y 8.139 mm/s en el P2.

Con la aplicación del nuevo diseño de voladura en los cuatro primeros disparos se obtuvieron menores valores a los que daba el diseño inicial, pero sucedió un incremento en el último disparo debido a que con los detonadores duales no se distancia en términos de tiempo de retardo eficientemente las cargas detonadas por lo que, aunque el desacoplamiento funciona, este factor jugaba una desventaja para la obtención de resultados deseados. Sin embargo, en los siguientes disparos se

siguieron manteniendo el nivel de vibraciones por debajo de 5 mm/s o en ocasiones valores no muy alejados.

De igual manera con respecto a la voladura secundaria se logró reducir en un 70 % de lo que se tenía en un inicio, y el porcentaje de recuperación bordeaba el 92% a comparación de lo que resulto del diseño inicial (80%).

Otro factor para que los resultados no se mantengan homogéneos era la variación de la calidad del macizo rocoso (rango de RMR 51-59), que a medida que se avanzaba con el minado, este presentaba más fracturas ya sea por la misma formación u ocasionados por las voladuras anteriores.

## CONCLUSIONES

1. Con respecto a la prueba de hipótesis, se pudo reducir el nivel de vibraciones en el municipio de Santo Domingo de un VPS de 11.08 mm/s (el pico más alto) a un VPS de 2.73 mm/s (en su pico mínimo) en el punto 02 – CASA DE DOÑA ESTER, del mismo modo de un VPS de 2.451 mm/s (el pico más alto) a un VPS de 0.453 mm/s (el mínimo) en el punto 01 – CAMPAMENTO CIS, pero por la cantidad de voladuras realizadas ( 5 en total) lo ideal sería realizar más pruebas para afinar estos resultados debido a que el ultimo disparo se registra un incremento de la vibración.
2. A pesar del incremento en el uso de detonadores duales que paso de 4 a 8 por taladro y del consumo de ANFO, este costo en comparación con los ahorros obtenidos en términos de eliminar los pilares pegados a las cajas por la voladura anterior, mejor fragmentación de roca y optimizar el ciclo de minado contribuyó a la validación del nuevo diseño de voladura.
3. El uso de decks intermedios en base a los estudios y parámetros geomecánicos resulto adecuado en un rango de 40 – 50 cm de material arena fina para una columna de carga de 2 metros en taladros de 89 mm de diámetro, el cual reduce el factor de carga minimizando el daño a la roca.
4. Se nota un leve incremento en el nivel de vibraciones debido a que las vibraciones de un disparo producen fracturas nuevas o extiende fracturas ya existentes. En este contexto una forma de estimar el daño al macizo rocoso vendría dado por el nivel de las vibraciones y el conocimiento de las propiedades geomecánicas.
5. Con respecto a la voladura secundaria se logró reducir en un 70 % de lo que se tenía en un inicio, y el porcentaje de recuperación bordeaba el 92% a comparación

de lo que resulto del diseño inicial (80%), esto se reflejó en el cumplimiento de la producción diaria.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda continuar con los monitoreos en las voladuras de las demás filas del tajo ya que se ve en los resultados de vibraciones un ligero incremento, para determinar el comportamiento de las cargas en lo posterior en los demás tajos de explotación de la mina Jabalí de la compañía minera Calibre Mining.
2. No centrarse en el incremento del consumo de explosivos únicamente para poder definir la validez de un diseño de voladura, ya que es mejor ver la incidencia que tiene en el costo global lo cual afianzará futuras optimizaciones.
3. Evaluar el cambio de puntos de monitoreo de acuerdo a la accesibilidad que se tenga a estos y además que estén lo más cercanos al tajo para tener mejores resultados. Esto podría poner un nuevo reto para la reducción de los niveles de vibración.
4. La instalación y posterior monitoreo debe ser efectuado por personal capacitado para disponer de información confiable, y evitar distorsiones en la toma de decisiones.
5. Se recomienda utilizar detonadores electrónicos para con estos poder tener más posibilidades en el diseño de carga y manejar efectivamente la carga operante.
6. Fomentar el estudio donde se aborde la reducción del nivel de vibraciones utilizando distintos enfoques para poder en algún punto crear modelos matemáticos efectivos de predicción de resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

Aliaga Aliaga, W. L. (2016). Reducción del daño al macizo rocoso circundante ocasionado por la voladura de rocas, usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones, caso mina Uchucchacua.

Contreras, W. (2009). Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones. Lima: San Marcos.

Gutiérrez, D., & Wilfredo, J. (2018). Reducción del daño inducido al macizo rocoso mediante monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones por voladuras en el Bypass 179. Compañía Minera Kolpa SA.

Holgado, P., & Raymundo, L. (2015). Análisis de vibraciones inducidos por la voladura de rocas en cantera Atocongo en zonas cercanas a poblaciones.

Contreras Pérez, W. J. (2009). *Selección del Explosivo Adecuado y Carga Máxima por Retardo Usando el Monitoreo, Modelamiento y Análisis de Vibraciones - Aplicación Mina Ares*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Loza, A. (2013). *Aplicación del Método de Holmberg para el Mejoramiento de la Malla de Voladura en la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.* (tesis pregrado). Universidad Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.

Morán, J. (2009). *Análisis técnico económico para explotar por taladros largos en tajeo 775 en la Unidad Uchucchacua de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* (tesis pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

Ojeda, R. (2004). *Diseño de Mallas de Perforación y Voladura Subterránea aplicando un Modelo Matemático de áreas de influencia* (trabajo de investigación). Mina San Rafael, Puno, Perú.

## ANEXOS

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### REDUCCIÓN DE VIBRACIONES EN EL MUNICIPIO DE SANTO DOMINGO CON LA APLICACIÓN DE UN NUEVO DISEÑO DE VOLADURA EN EL TAJO 333 – 311- MINA JABALI

<u>PROBLEMA GENERAL</u>	<u>OBJETIVO GENERAL</u>	<u>HIPÓTESIS GENERAL</u>	<u>VARIABLES</u>	<u>METODOLOGÍA</u>
¿En posible reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 - Mina Jabali?	Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 – 311 - Mina Jabali.	La aplicación de un nuevo diseño de voladura en el tajo 333 -311 – Mina Jabali permite la reducción de vibraciones del Municipio de Santo Domingo.	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> <b>X</b>	<b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Es aplicada - experimental.
<u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u>	<u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u>	<u>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</u>	<i>X1: Distribución de taladros</i> <i>X2: Carga Operante</i>	<b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN</b> Es el método lógico inductivo, sintético, análisis, mediante la observación investigativa.
<b>Pe1.</b>	<b>Oe1</b>	<b>He1</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>POBLACION</b>
¿La aplicación de un nuevo diseño de distribución de taladros en el tajo 333 – 311 – Mina Jabali permite la reducción de las vibraciones del Municipio de Santo Domingo?	Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de la distribución de taladros en el tajo 333 – 311 - Mina Jabali	• Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de distribución de taladros en el tajo 333 - 311 – Mina Jabali.	Sección a escavar, longitud de barreno, cantidad de taladros, consumo específico, calidad de roca, burden, espaciamiento, densidad del explosivo, N° de taladros por secuencia, secuencia de retardos.	La población está constituida por losTajos de la Mina Jabali Oeste
<b>Pe2.</b>	<b>Oe2</b>	<b>He2</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE: Y</b>	<b>MUESTRA:</b> Para la investigación se consideró el Tajo 311-333
¿La aplicación de un nuevo diseño de carga operante en el tajo 333 – 311- Mina Jabali permite la reducción de las vibraciones del Municipio de Santo Domingo?	Reducir las vibraciones del Municipio de Santo Domingo mediante la aplicación de un nuevo diseño de la carga operante en el tajo 333 – 311 - Mina Jabali.	• Las vibraciones en el municipio de Santo Domingo se reducen mediante la aplicación de un nuevo diseño de la carga operante en el tajo 333 -311 – Mina Jabali.	<b>Reducción de vibraciones de las voladuras en el Municipio de Santo Domingo</b>	<b>TECNICAS:</b> La Observación (Campo), toma de datos primarios, la toma de datos secundarios, la clasificación de la información, el análisis de los datos, medición (Gabinete), evaluación de resultados, discusión e interpretación.
			<b>INDICADORES</b>	<b>INSTRUMENTOS:</b>
			Velocidad de partícula máxima, Frecuencia, aceleración de partículas.	Hoja de registro y planos, uso de equipos, uso de gabinetes, hojas de registro/ libreta de campo, uso de PC, análisis de componentes





✓ Equipo de monitoreo marca Instatel modelo micromate.

(Equipo de monitoreo instalado en P2 – CASA DE DOÑA ESTER)



Recording Waveform	
Histogram: 1.5 Second Intervals	
Events: 20 Seconds	
Trigger: GEO 0.25 mm/s, MIC 100 dB	
<b>Vibration</b>	<b>Overpressure</b>
Peak: 0.394 mm/s	89 dB
ZC Frequency: 28 Hz	4.2 Hz



✓ Formato para control de consumo de explosivos

FORMATO CONTROL DE EXPLOSIVOS-POLVORIN											
FECHA:					NIVEL						
TURNO:					LABOR						
LONG.DE PERFORACION:					T.DE LABOR	<input type="checkbox"/>	FRENTE	<input type="checkbox"/>	DESQ.	<input type="checkbox"/>	OTROS
RESPONSABLE:											
EXPLOSIVOS											
DETALLE	SALIDA		UNIDAD		DEVOLUCION		UNIDAD				
Emulnor 38x400											
Emulnor 25x400											
Emulnor 25x200											
Anfo											
Pentacord											
ACCESORIOS											
DETALLE	SALIDA		UNIDAD		DEVOLUCION		UNIDAD				
DETONADORES											
DETALLE	SALIDA		UNIDAD		DEVOLUCION		UNIDAD				
LP1											
LP2											
LP3											
LP4											
LP5											
LP6											
LP7											
LP8											
LP9											
LP10											
LP11											
LP12											
LP13											
LP14											
LP15											
OBSERVACIONES:											

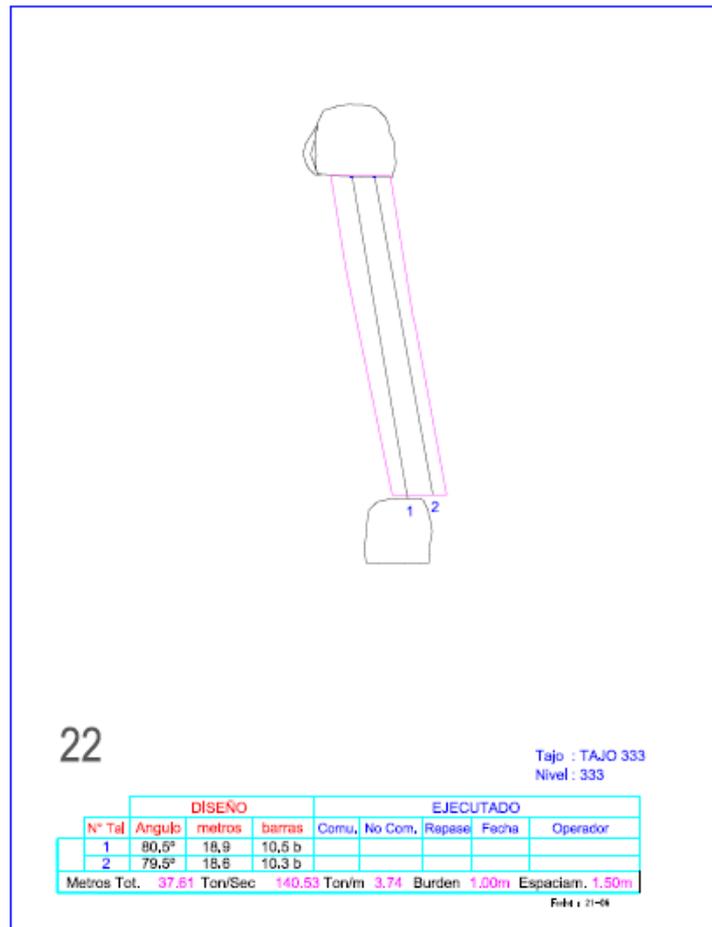
✓ Formato para control de carga operante

FECHA	TURNO	B=(mts)	E=(mts)	ANCHO TAJEO (mts)	ALTURA BANCO (mts)	TIPO DE VOLAURA	N° TALADRO	N° DE CEBO	ANFO (saco)	EMULEX 38X400 (Und)	EMULEX 63X400 (Und)	DET. DUALES (und)	GUIAS (Und)	Explosivos (Kg)	Carga Operante (Kg/Retardo)

✓ Formato para control de vibraciones

Fecha	Turno	EXPLOSIVOS		Campamento CIS (450-510mts)	Casa Doña Ester (400-450mts)
		Explosivos (Kg)	CARGA OPERANTE (kg/Retardo)	VPS (mm/s)	VPS (mm/s)

✓ Formato para control de burden y espaciamento



Distribución de taladros con el nuevo diseño de voladura Tajo 333-311



Equipo de perforación SANDVIK DT -311 con telemando en tajo 333-311

