

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



**T E S I S**

**Diseño de la malla de perforación y voladura para el incremento de la  
productividad de tajeos en la compañía minera Alpayana - Unidad Americana**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Blademir Stalin VERASTEGUI RODRIGUEZ**

**Asesor:**

**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIOÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

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



**T E S I S**

**Diseño de la malla de perforación y voladura para el incremento de la  
productividad de tajeos en la compañía minera Alpayana - Unidad Americana**

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

---

**Mg. Floro Pagel ZENTENO GOMEZ**

**PRESIDENTE**

---

**Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA**

**MIEMBRO**

---

**Mg. Raúl FERNANDEZ MALLQUI**

**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión**

**Facultad de Ingeniería de Minas**

**Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas**



---

## INFORME DE ORIGINALIDAD N° 076-2024

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

**Bach. Blademir Stalin VERASTEGUI RODRIGUEZ**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:  
**Tesis**

Título del trabajo  
**Diseño de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeos en la compañía minera Alpayana - Unidad Americana**

Asesor:

**Dr. Agustín Arturo AGUIRRE ADAUTO**

Índice de Similitud: **29 %**

Calificativo  
**APROBADO**

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 19 de diciembre de 2024.

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres,  
quienes son guía en mi camino, el  
motivo que me impulsa a seguir  
luchando por mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Daniel A. Carrión, Facultad de Ingeniería de Minas, través de sus docentes impartieron sus conocimientos a la formación de profesionales mineros.

A los colegas ingenieros de la Empresa Minera de Alpayana S.A. especialmente al área de planeamiento e ingeniería. Ya las personas que me apoyaron en la presentación en la presente investigación.

Bach. Blademir VERASTEGUI RODRIGUEZ

## RESUMEN

La Empresa Alpayana S.A. Unidad Americana, tiene como objetivo maximizar sus ingresos, para esto es necesario incrementar la productividad y reducir los costos, y así hacer sostenible las operaciones durante la vida de la mina, frente a los factores a las que se encuentran durante la explotación de los recursos de minerales metálicos, para alcanzar estos objetivos existe la opción que permite optimizar los costos de producción y generar rentabilidad, es la aplicación del método de explotación de sub level stoping en las operaciones mineras. El presente estudio de investigación se propone los parámetros en el minado del Sub Level Stopping mediante taladros largos en vetas angostas y de mayor potencia; en el incremento de la producción mediante los requerimientos de los equipos de perforación como el simba HI254 de marca Epiroc, que proporciona una gran área de cobertura y puede perforar barrenos paralelos y en abanico, tanto ascendentes y descendentes; consta de un martillo en cabeza de alto rendimiento. Así como la aplicación de explosivo de Anfo, Superfam-Dos, a granel con el que se logra el 100% del confinamiento dentro del taladro y garantiza un alto poder rompedor, emulsión encartuchada de 5000 EMULNOR-5000, 1 ½ X 8. La metodología establecida; en cuanto a la población son los todos los tajeos que tiene la Unidad Minera Alpayana S.A. y la muestra es el tajo 370 de la veta M4-M5 del nivel 21 galería 295 NE. Finalmente se concluye que la investigación permitió optimizar la productividad de 28.09 ton/tal a 45.60 ton/tal y la disminución del costo de minado fue de 5.7 \$/ton a 3.8 \$/ton.

**Palabras claves:** diseño de malla de perforación y voladura, requerimiento de perforación y voladura, costos de minado.

## ABSTRACT

The Company Alpayana S.A. American Unit, aims to maximize its income, for this it is necessary to increase the productivity and reduce costs, and thus make sustainable operations during the life of the mine, facing the factors to which they are during the exploitation of metallic mineral resources, to achieve these objectives there is the option to optimize production costs and generate profitability, is the application of the method of exploitation of long drills in mining operations. The present research study proposes the parameters in the mining of Sub Level Stopping through long holes in narrow veins and higher power; in the increase of production through the requirements of drilling equipment such as simba HI254 that provides a large coverage area and can drill parallel and fan drill holes, both ascending and descending; this equipment is with a high-performance head hammer that provides a sustainable solution for the drilling of long holes. As well as the application of Anfo explosive, Examon-P, in bulk with which 100% of the confinement is achieved inside the drill hole and guarantees a high breaking power, of Bait: Emulsion cased of 5000 Emulnor, 1 ½ X 8. The established methodology; the population is all the pits that Unidad Minera Alpayana S.A. has and the sample is pit 370 of the M4-M5 vein of level 21 gallery 295 NE44; the independent variable is the design of the drilling and blasting mesh with long drills and the dependent variable is productivity in the mining of the mentioned vein. Finally, it is concluded that the research allowed optimizing the productivity from 28.09 ton/ton/ton to 45.60 ton/ton and the decrease of the mining cost was from 5.7 \$/ton to 3.8\$/ton.

**keywords:** drill and blast mesh design, drill and blast requirement, mining costs.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo la optimización de resultados en las operaciones unitarias como la de perforación y voladura, de esta depende en mayor parte la productividad durante el minado; en este caso aplicado al minado de vetas angostas a vetas de mayor potencia, tal como se observa en el minado del tajeo M4-M5, y es aquí donde se concentra la nuestra investigación; en generar los parámetros de perforación como burden, espaciamiento y carguío con un análisis de costos y indicadores claves de rendimiento, en la investigación de comparar entre el diseño de malla anterior y la actual.

Se desarrolló cada uno de los modelos matemáticos introduciendo data real a la cual nos inclinamos al modelo matemático de langefors debido a su gran cantidad de variables utilizadas en su modelo. por lo tanto, se determinó un burden máximo de 1.54 m y con los ajustes se llegó a un burden de 1.5m y un distanciamiento entre taladros de 1.30 m con las dimensiones mencionadas y teniendo en cuenta el ancho de minado obtener logró obtener el índice de perforación que va de 2.16 ton/m a 2.38 ton/m. De igual manera los indicadores de voladura se ven positivamente afectados, el caso del factor de potencia 0.44 kg/ton y carga operante 19.12 kg/retardo que se obtuvieron a comparación de lo que ocurría donde los valores son de 1.07 kg/ton y 29.43 kg/retardo respectivamente de manera que la productividad se ve optimizado de 28.09 ton/tal a 45.60 ton/tal. con estos indicadores se concluye que la hipótesis propuesta se respondió satisfactoriamente.

Asimismo, en la realización de la tesis propuesto se ha consideró, 04 partes: en el Capítulo N°01 se consideró el problema de investigación; que, está compuesto con la la identificación y formulación del problema, sus objetivos y también su justificación. El capítulo N°02, trata del marco teórico, que comprende los antecedentes, las bases teóricas

en que basa el estudio; también, la formulación de hipótesis e identificación de las variables independiente y dependiente. En el capítulo N°03, se considera la metodología, el tipo de investigación, la población y el muestreo, técnicas de recolección y procesamiento de los análisis de los datos. El capítulo N°04, comprende el diseño de la malla de perforación y voladura, incremento de la productividad, la prueba de hipótesis y los resultados; para finalizar se considera las conclusiones y recomendaciones.

El Autor

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

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

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	6
------	------------------------------	---

2.1.1.	A nivel internacional.....	6
2.1.2.	A nivel nacional.....	7
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	9
2.2.1.	Ubicación y acceso .....	9
2.2.2.	Geología regional .....	11
2.2.3.	Estratigrafía .....	11
2.2.4.	Estructuras .....	15
2.2.5.	Geología económica .....	16
2.2.6.	Operaciones Mineras .....	20
2.2.7.	Método de Explotación Sublevel Stopping .....	23
2.2.8.	Diseño de disparo primario .....	25
2.2.9.	Productividad.....	37
2.3.	Definición de términos básicos .....	38
2.4.	Formulación de Hipótesis .....	39
2.4.1.	Hipótesis general .....	39
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	39
2.5.	Identificación de variables .....	39
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	40

### **CAPÍTULO III**

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

3.1.	Tipo de investigación.....	41
3.2.	Nivel de investigación .....	41
3.3.	Métodos de investigación .....	42
3.4.	Diseño de investigación.....	42
3.5.	Población y muestra.....	42

3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	43
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	43
3.8.	Tratamiento estadístico.....	44

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	45
4.1.1.	Estructura mineralizada .....	45
4.1.2.	Minado con taladros largos .....	49
4.1.3.	Determinación del tajeo 370 galería 295 NE Nivel 21 Veta M4 – M5..	49
4.2.	Presentación Análisis e interpretación de resultados.....	50
4.2.1.	Diseño del método de explotación .....	50
4.2.2.	Voladura .....	58
4.3.	Prueba de hipótesis .....	59
4.3.1.	Hipótesis general .....	59
4.3.2.	Hipótesis específicas 1 .....	62
4.3.3.	Hipótesis específica 2 .....	69
4.4.	Discusión de los resultados.....	71

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Itinerario de acceso.....	10
<b>Tabla 2</b> Distribución de la energía.....	30
<b>Tabla 3</b> Eficiencia de los explosivos .....	31
<b>Tabla 4</b> Esfuerzo de compresión y tensión en rocas comunes .....	33
<b>Tabla 5</b> Clasificación de la roca intacta en función del esfuerzo .....	33
<b>Tabla 6</b> Clasificación de roca por densidad y porosidad .....	34
<b>Tabla 7</b> Relación densidad de roca y velocidad sísmica .....	34
<b>Tabla 8</b> Corrección por número de filas .....	37
<b>Tabla 9</b> Definición operacional de variable e indicadores .....	40
<b>Tabla 10</b> Especificaciones del macizo rocoso .....	48
<b>Tabla 11</b> Características para la perforación en Tj 370 .....	55
<b>Tabla 12</b> Cálculo del burden según Konya.....	57
<b>Tabla 13</b> Calculo del burden según Ash.....	57
<b>Tabla 14</b> Cálculo del burden según Langefors .....	58
<b>Tabla 15</b> Productividad.....	61
<b>Tabla 16</b> Indicadores .....	61
<b>Tabla 17</b> Parámetros actuales de perforación del simba H1254(J12) .....	64
<b>Tabla 18</b> Costos en perforación y voladura .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación de la Mina .....	10
<b>Figura 2</b> Columna Estratigráfica .....	12
<b>Figura 3</b> Geología Estructural .....	16
<b>Figura 4</b> Mostrando la Sección longitudinal, vertical a lo largo de la veta M y túnel Graton en el área de la mina .....	19
<b>Figura 5</b> Modelo matemático de voladura de rocas .....	26
<b>Figura 6</b> Variables geométricas .....	27
<b>Figura 7</b> Parámetros geométricos controlables .....	28
<b>Figura 8</b> Parámetros geométricos controlables .....	29
<b>Figura 9</b> Sistema de iniciación .....	32
<b>Figura 10</b> Ubicación de taladros con respecto a planos de juntas .....	35
<b>Figura 11</b> Diagrama estereográfico de contornos del compósito general .....	47
<b>Figura 12</b> Diagrama estereográfico de planos principales del compósito .....	47
<b>Figura 13</b> Diagrama de roseta de discontinuidades del compósito .....	48
<b>Figura 14</b> Plano N°13 Tajeo 370 Galería 295 NE Nivel 21 Veta M4-M5. Sección 65	52
<b>Figura 15</b> Plano N°13 Tajeo 370 Galería 295 NE Nivel 21 Veta M4-M5. Sección 21	53
<b>Figura 16</b> Dimensiones del Simba H1254.....	65
<b>Figura 17</b> Calidad de la roca.....	65
<b>Figura 18</b> Estado de columna de perforación.....	66
<b>Figura 19</b> Tipo y diámetro de broca .....	67
<b>Figura 20</b> Fuerzas mecánicas de las perforadoras .....	67
<b>Figura 21</b> Distribución de carga .....	68

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

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

Con respecto a la industria minera, es importante resaltar que, esta es esencial en la vida de las personas porque se evidencia cada día, en redes eléctricas, construcción de carreteras, viviendas, puentes, vehículos, dispositivos medicinales, etc., todos los metales que permiten la fabricación de estos productos son comercializados a nivel global (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, [Osinergmin], 2017). Visto de esta forma, la industria minera es de gran relevancia para muchas de las actividades que se realizan en el mundo. Surge la necesidad de garantizar que se realicen las actividades de la mejor forma posible.

El Perú es uno de los países con más producción minera en América Latina, lo que implica que este sector también aporta mucho en la economía y producción de empleos; entonces, esta actividad es uno de los pilares de las proyecciones de crecimiento en el país. Dentro de los metales más producidos están cobre, zinc y plomo, aunque también se extrae cobre, etc. (Ministerio de

Energía y Minas [MINEM], 2010). De allí que, existen una gran cantidad de empresas que se dedican a la extracción de metales; convirtiéndose este mercado en competitivo, lo que implica la necesidad de revisar en forma interna la eficiencia y eficacia que se mantiene para relacionarla con los niveles de productividad.

Evidentemente, la productividad está relacionada con entender la eficiencia y la eficacia, la primera en función de cumplir metas y la segunda en busca de resultados en el tiempo previsto y con los insumos necesarios (Amorós, 2007). En la industria minera debe también garantizarse los niveles de productividad en cada proceso que se realiza debido que, todas las etapas están interconectadas entre sí. Esta realidad se evidencia en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana, donde a través de la observación directa, se presentan deficiencias en el establecimiento de secuencias, de tiempos que producen retardos en las mallas de voladuras que se utilizan. Deben establecerse una mejor planificación para la utilización adecuada de los explosivos, estableciendo las medidas de promedio de carga. Con respecto a la malla deben cuidarse todos los detalles desde la supervisión hasta realizar un análisis general de todo el proceso.

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

La investigación se realiza en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana, se centrará solo en diseño de la malla de perforación y voladura. Se llevará a cabo en un lapso de tres meses el desarrollo del trabajo de investigación.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema General**

¿Cómo influye el diseño de malla de perforación y voladura para el

incremento de la productividad en el tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Cómo son los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?
- b) ¿Cómo disminuyen los costos en perforación y voladura en el tajeo para el incremento de la productividad de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

Se adecuan de la siguiente manera:

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar la malla de perforación y voladura en sub level stoping para el incremento de la productividad en el tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a) Determinar los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.
- b) Analizar la reducción de costos en perforación y voladura en el tajeo para el incremento de la productividad de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

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

Desde la postura práctica, el tema central de la tesis hace referencia a una situación interna que está presente en la empresa, lo que implica el incremento de la productividad, por supuesto, debe existir un sistema verifique en todas las operaciones mineras la eficacia de las actividades que se realizan. En este sentido, el diseño de la malla de perforación y voladura, no sólo elevará la productividad, también se estima que, al realizar el diagnóstico de la situación, elevando el nivel de supervisión y control de operaciones en esa área.

En el ámbito teórico, la investigación refleja una realidad que puede estar ocurriendo en otras empresas mineras, siendo un antecedente importante a considerar para otros trabajos. Asimismo, se realiza una revisión teórica de tesis, libro y artículos científicos que permitirá al investigador ampliar sus conocimientos en el área de diseño de la malla de perforación y voladura; asimismo, delimitará los avances investigativos a nivel nacional e internacional en referencia al tema. Es necesario mencionar que, dentro del mejoras en la productividad se espera el incremento de los avances en metros lineales; de igual forma, la disminución de costos en perforación y voladura.

Dentro de los beneficios que se obtendrán para la empresa se tiene, en el contexto económico la disminución de los costos, en la parte de personal, se recomienda la capacitación continua para mejora las técnicas de perforación y voladura, para que este trabajo se realice de forma exitosa. Sede resaltarse que este tema abordado forma parte importante del ciclo de la actividad minera, de allí que, se considere el diseño de las mallas como un requerimiento que debe ser optimizado.

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

Dentro de las limitaciones se tienen pocas investigaciones referidas al diseñar de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeos; así como poco material como libros.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

##### **2.1.1. A nivel internacional**

Zamora-Paredes, Arauzo-Gallardo, Raymundo-Ibañez, y Pérez (2020), en su investigación titulada “Metodología de diseño de malla óptima considerando los parámetros geométricos para la fragmentación de roca en la minería a cielo abierto en los Andes del sur del Perú”, Bangkok – Tailandia. Con base en la premisa de que la voladura es considerada una de las etapas más importantes en la producción de la mina para facilitar el fragmentado de la roca, se abordó una metodología para el diseño de la malla de voladura a través de la aplicación de modelos matemáticos que incluyeron el cálculo de parámetros geométricos de la malla, como la carga y el macizo rocoso, así como el tipo de explosivo a emplear para medir la productividad dada en Ton/hr. Entre los resultados obtenidos se tuvo el diseño de una malla cuadrada de 2,2 x 2,5; reduciendo el P80 en un 65% (6 pulgadas). Asimismo, se logró aumentar la productividad de las excavadoras en un 15,6%.

Karpov, Timonin, Konurin, y Chernienkov (2019), en su investigación titulada “Mejora de la eficiencia de perforación en minas subterráneas de Rusia”, Novosibirsk – Rusia. Este estudio abordó el uso de los equipos y tecnologías de perforación rusos y se comparó con aquellos provenientes del extranjero para aumentar la eficiencia de las excavadoras en mina. Las variables consideradas fueron la velocidad mecánica, el funcionamiento y el volumen de perforación. Asimismo, se tomó como referencia el costo de perforación con respecto al tipo de malla empleada y se estableció la tasa de producción. En cuanto a los resultados obtenidos, se evidenció una disminución de la productividad del 40%, la cual se logró mejorar por medio de la implementación del criterio de selección de máquinas de perforación.

Luo y otros (2016), en su investigación titulada “Desarrollo de una broca de perforación especialmente diseñada para el martillo neumático de fondo para reducir la producción de polvo en el proceso de perforación”, Changchung – China. El estudio consistió en el diseño de una broca de perforación y malla para un martillo neumático de circulación inversa para reducir la producción de polvo en las adyacencias de la mina. Para esto, fue necesaria la aplicación de una metodología de tipo experimental y de dinámica de fluidos computacional. En cuanto a los resultados obtenidos, se evidenció que la velocidad de pulverización de las boquillas de succión tenía un impacto considerable en el rendimiento de la broca y, por ende, en la productividad del equipo al aumentar la misma en un 99% sin la necesidad de incluir un dispositivo de sellado adicional.

### **2.1.2. A nivel nacional**

Chancasanampa Janampa (2019), en su investigación titulada “Diseño de la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajeos en

la compañía minera Great Panther Corcancha S.A.”, Huancayo – Perú. Tuvo por objeto el estudio de la factibilidad de incremento de la productividad de tajeos para mejorar el déficit de aporte mineral de 80 TM /mes. En ese sentido, la metodología aplicada consistió en un análisis comparativo de la productividad de los tajeos pre y post diseño de la malla de perforación y voladura. En cuanto a los resultados obtenidos, se pudo reducir el daño en las paredes de 0,03 m y se pudo incrementar la productividad de 0,68 a 4,5 TM/Hombre-gdía. Asimismo, se evidenció que hubo una reducción en los tiempos de minerado de 11,2 días/corte y la sobredilución a 4,87%.

Mallqui Balbín (2019), en su investigación titulada “Diseño de malla de perforación y voladura de taladros largos en Sub Level Stopping para incrementar la productividad en mina Marcapunta Sur de Sociedad Minera El Brocal S.A.A”, Huancayo – Perú. El objetivo del estudio consistió en la reducción de costos y aumento de la productividad al realizar la propuesta del diseño de una malla para perforación y voladura en el sitio en mención. Bajo esa premisa, la metodología que se comprendió fue de tipo aplicado, diseño experimental, descriptivo y correlacional. En cuanto a los resultados obtenidos, se pudo concluir que el diseño de la malla facilitó la homogeneización de la fragmentación de la roca y la resistencia de los hastiales de acuerdo con los parámetros de diseño: burden 1,60, espaciamiento 1,50 m y factor de potencia VCR + SLOT 3,84 kg Anfo/Ton de 4 – 5 filas 0,10 kg Anfo/Ton. Rotas. Finalmente se midió la relación de la productividad por cantidad de mineral preparado por tajo, aumentando de 24.500 TM a 42.900 TM.

Correa Lozada (2018), en su investigación titulada “Diseño de malla de perforación y voladura para incrementar la producción de mineral en el tajo 1708

en consorcio minero Horizonte S.A. La Libertad”, Trujillo – Perú. Fue realizado con miras a la optimización de los parámetros de diseño asociados a la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad en el tajo de avance 2.8 m y 101,79 tn/disparo. La metodología fue aplicada, experimental y descriptiva; donde fue necesaria la aplicación de métodos como el de Holmberg, Langerford, etc. para determinar las características de las rocas. De acuerdo a esto, se obtuvieron los resultados para el cálculo de la malla en donde se tuvo un aumento de la producción de 11,32% (101,73 a 113,25 tn/disp), al igual que un avance de 2,8 m a 3,2 m (14%), resultando beneficioso en la productividad del equipo en mina.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

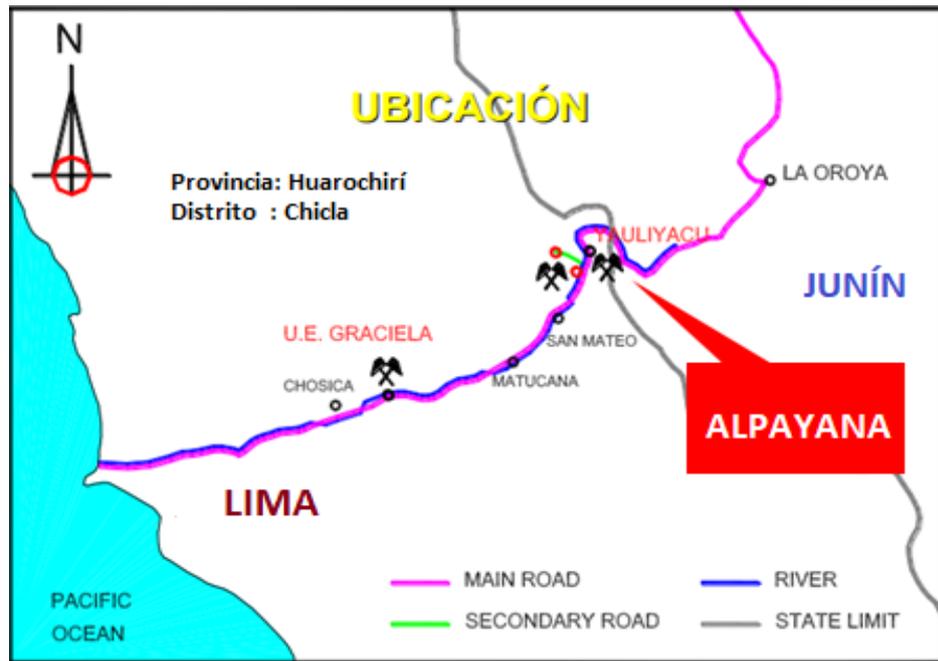
Generalidades de la mina ALPAYANA – Casapalca

### **2.2.1. Ubicación y acceso**

La Unidad Económica Administrativa de la Compañía Minera Alpayana se ubica en el distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, Región Lima. Geográficamente se localiza en la zona central, flanco Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes, entre las coordenadas 11° 30' Latitud Sur y 76° 10' de Longitud Oeste, a una altitud promedio de 4,250 m sobre el Nivel del mar. Ver Figura N°01.

**Figura 1**

*Ubicación de la Mina*



**Fuente:** Elaboración propia

El acceso es por vía terrestre partiendo de la ciudad de Lima a la zona de estudio, por la carretera Central hasta la altura del km. 120, con el itinerario siguiente: Ver tabla N°01. Itinerario de Acceso de Lima a unidad Minera Económica Administrativa Americana.

**Tabla 1**

*Itinerario de acceso*

Origen	Destino	Distancia (Km.)	Tipo de vía
Lima	Chosica	34.0	Asfaltada
Chosica	Matucana	42.5	Asfaltada
Matucana	Chicla	30.1	Asfaltada
Chicla	Zona industrial	10.0	Asfaltada
Zona industrial	Unidad Casapalca	5.0	Afirmada
<b>Total</b>		121.6	

**Fuente:** Elaboración propia

### **2.2.2. Geología regional**

El área de estudios se encuentra ubicada en la parte Occidental de la Cordillera Central de los Andes, en un ambiente del tipo Glaciar, cuya altitud promedio es de 5,000 m.s.n.m. con una zona morfológica abrupta y fuertes pendientes, con geoformas de antiguos glaciares, con valles en U y lagunas escalonadas. Las unidades estratigráficas que afloran varían desde el Jurásico hasta el Cuaternario reciente. El Cretáceo superior y Terciario inferior fue afectado por la fase peruana, movimiento orogénico a fines del Cretáceo superior el cual puso fin a la sedimentación marina a lo largo de la actual faja andina.

El Terciario conformado por volcánicos comprende una potente serie de derrames riolíticos, riodacíticos y dacíticos con intercalaciones de lutitas y conglomerados; finalmente el cuaternario pleistocénico está conformado por depósitos glaciares y fluvioglaciares, además los depósitos recientes conformados por: depósitos coluviales, eluviales, aluviales y de deslizamiento.

### **2.2.3. Estratigrafía**

Geológicamente, el área de estudio se encuentra ubicado en el flanco Noroeste del yacimiento minero Casapalca. Regionalmente, el área está constituida por rocas sedimentarias y volcánicas de edad Triásico – Cretáceo - Terciario, que alcanzan un espesor aproximado de 5,400 m, instruidas por una serie de rocas ígneas de edad Terciaria superior, probable fuente de la mineralización. Una cobertura con depósitos detríticos cuaternarios. El siguiente es un resumen de la secuencia estratigráfica referida: Ver figura N°02.

### **Formación Casapalca**

Las rocas identificadas en la mina Casapalca están constituidos por rocas sedimentarias de la Formación Casapalca de edad terciaria. Está dividida en tres

miembros:

**Capas Rojas:**

Está formado por intercalaciones de “lutitas” y areniscas calcáreas, en este tipo de roca se ha observado concentraciones de mineral los cuales se presentan como “Vetillas” y diseminaciones controladas por el rumbo de la estratificación. Solo en zonas de intenso fracturamiento y repliegues la saturación de agua puede ser importante.

**Figura 2**  
*Columna Estratigráfica*

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	GRUPOR (m)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN		
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos aluviales			Arenas, gravas y limos.		
		PLEISTOCENA	Depósitos glaciares			Morrenas		
	NEÓGENO	PLIOCENA	Grupo Cuzco	Formación Matsya	50		Capas lacustrinas arenas y limos poco consolidadas.	
			Formación Ushno	120		Conglomerados fluviales.		
			Formación Ingahuasi	50		Tobas diatomeas, Diac. eros.		
			Formación Yanacancha	250		Lavas, brechas, conglomerados andesíticos.		
	PALEÓGENO	MIOCENA	Formación Huanochiri	400		Tobas riolíticas y riolíticas con intercalaciones de areniscas.		
			Formación Millotingo	400		Lava andesítica a dacítica, areniscas volcánicas		
			Formación Castrovirreyema	150		Volcánico - sedimentario con intercalaciones de tobas.		
		OLIGOCENA	EXENA	Grupo Sacsacuerdo		2015		Tobas riolíticas soldadas, lavas y areniscas volcánicas
					Formación Tantarà	100		Andesita / Riolita Derrames andesíticos a riolíticos, gris verdoso. Diac. ang.
		MESOZOICA	CRETÁCEO	SUPERIOR	Formación Casapalca	4000		Lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados de color rojo. Dioritas.
	Formación Celendín				400		Calizas pardo amarillentas con margas calcáreas, yeso.	
	Formación Jumasha				400		Calizas compactas en estratos gruesos a delgados.	
INFERIOR	Formación Paratambo			120		Calizas, lutitas de color negro fétido.		
	Formación Chuluc			320		Calizas gris pardo amarillentas y margas calcáreas.		
	Formación Parlahuanca			260		Calizas y margas calcáreas.		
	Formación Farrat			700		Areniscas de grano medio blanco a gris rojo.		
	Formación Calhuaz			450		Areniscas con intercalaciones de lutitas violáceas.		
	Formación Santa			100		Caliza gris y arrollitas abigarradas.		
	Formación Chimú			400		Cuarzitas grises con intercalaciones de material bituminoso.		
JURÁSICO	MEDIA		Formación Chaucha	300		Lodolitas y limolitas calcáreas, calizas y dolomitas.		
	INFERIOR		Formación Cercapuzguo	322		Areniscas de grano fino a grueso color blanco a gris.		
TRIÁSICO	SUPERIOR		Grupo Pucallpa	Formación Condorsinga	1000		Calizas gris azulada con presencia de venillas de calcitas.	
				Formación Aramachay	400		Intercalaciones de caliza con nódulos calcáreos y limoarcillitas carbonosas.	
		Formación Chambará		300		Calizas micriticas con nódulos de chert. Diac. ang.		
PALEOZOICA	PERMIANO	SUPERIOR	Grupo Mito	1700		Secuencia rítmica molásica, conglomerados con clastos de volcánicos. Intrusivos y brechas volcánicas.		
		INFERIOR	Grupo Copacabana	150		Areniscas, calizas y lutitas de color brunoáceo.		
	CARBONÍFERO	SUPERIOR	Grupo Tarma	1300		Lutitas y limolitas grises con intercalaciones de areniscas Monzogranitos, granitos.		
		INFERIOR	Grupo Ambo	900		Conglomerados, molasas rítmicas, areniscas feldespáticas.		
	DEVONIANO	SUPERIOR	Grupo Cabanillas	780		Secuencias tipo flysh con areniscas, lutitas y pizarras		
	MEDIA					Diac. ang.		
	INFERIOR					Filitas con escasas intercalaciones de cuarzo, negro grisáceas, basaltos, metatoba y mármoles.		
SILURIANO ORDOVICIANO			Metasedimentitas no diferenciadas	700				

**Fuente:** Departamento de Geología

**Conglomerado Carmen:**

Estas rocas están sobre yaciendo a las capas rojas y se caracterizan por estar constituidas por una secuencia de conglomerados y calizas intercalados por

areniscas y “lutitas” calcáreas. Los conglomerados están formando lentes irregulares y están compuestos por guijarros y cantos rodados de cuarcita y caliza en una matriz arena arcillosa y cemento calcáreo.

### **Formación Carlos Francisco**

Sobre las rocas sedimentarias se encuentra una potente serie de rocas volcánicas a las que se han denominado Carlos Francisco.

### **Volcánicos Tablachaca:**

Se encuentran una sucesión de rocas volcánicas constituidas por capas de: brechas, conglomerados, aglomerados y roca porfírica efusiva que forman el miembro Tablachaca.

### **Volcánicos Carlos Francisco:**

Sobre el miembro Tablachaca se encuentran el volcánico Carlos Francisco que consisten de flujos andesíticos masivos y fragmentado (brechas). Las capas de brecha consisten de fragmentos de “porfíricos” angulosos, generalmente verdosos, incluidos en una matriz de roca “porfírica” rojiza. Intercaladas con las brechas está la andesitas porfírica que varían de gris oscuro a verde.

### **Rocas Intrusivas**

Los eventos magmáticos del Terciario Superior dan origen al emplazamiento de rocas intrusivas de composición diorítica que se emplazan cortando la secuencia sedimentaria y volcánica sedimentaria, afloran en la parte Sur-Este del distrito mineralizado.

### **El pórfido Taruca**

Es uno de los intrusivos importantes, constituidos por diques y stocks que intruyen a rocas aflorantes al sureste del área. Tiene forma elongada y dispuesta con dirección norte sur. Estos se caracterizan por presentar textura porfírica, con

fenocristales de feldespatos (oligoclasa-albita), hornblenda y poco cuarzo, incluidos en una matriz afanítica.

### **Pórfido Victoria**

Se trata de un intrusivo de color gris claro que aflora en la parte norte del área, tiene aproximadamente 300 m. de ancho. La roca se caracteriza por presentar fenocristales de albita y poco cuarzo en una matriz fina de sericita.

### **Depósitos Recientes**

Están conformados principalmente por depósitos glaciares y conos de escombros, constituido por material inconsolidado producto de la erosión glaciár (morrenas), fluvial y depósitos de pendiente (coluviales y eluviales).

### **Depósitos glaciares**

Están referidas a morrenas antiguas y recientes que se encuentran en las cabeceras de los valles glaciares o bien cubriendo el fondo o las márgenes de los mismos.

### **Depósitos fluvioglaciares**

Es el material acarreado por las vertientes de las zonas andinas, está en relación con la actividad erosiva por el levantamiento andino y las etapas de glaciación. Como resultados ha dejado terrazas de material aluvional en las márgenes de los ríos. Los más recientes están en el lecho de los ríos.

### **Depósitos eluviales**

Los eluviales son promontorios producto del intemperismo, disgregación de fragmentos por fenómenos de crioclastia principalmente, en zonas altas donde el agua se congela, pero también se deshiela, produciendo efecto de palanca.

### **Los depósitos coluviales:**

Son provenientes de los escarpes de las laderas de los cerros como

material de escombros por efecto de la gravedad, están constituido por gravas y bloques sub angulosos en una matriz arenosa limosa.

#### **2.2.4. Estructuras**

**Fallas:** Las principales estructuras geológicas asociadas al área de estudio presentan tres sistemas:

- Sistema 1, son las fallas longitudinales, que en general tienen una dirección regional Noroeste-Sureste (N 30° – 40° W).
- Sistema 2, Asociadas a las fallas longitudinales, se observan las transversales. (N 60° – 70° W), generalmente dislocan a las primeras. Son coincidente con las estructuras mineralizadas. Es el sistema de fracturamiento que afectó a la roca pre - existente y que facilitaron el emplazamiento de la mineralización.
- Sistema 3, en dirección N – S, desplazadas por las anteriores.

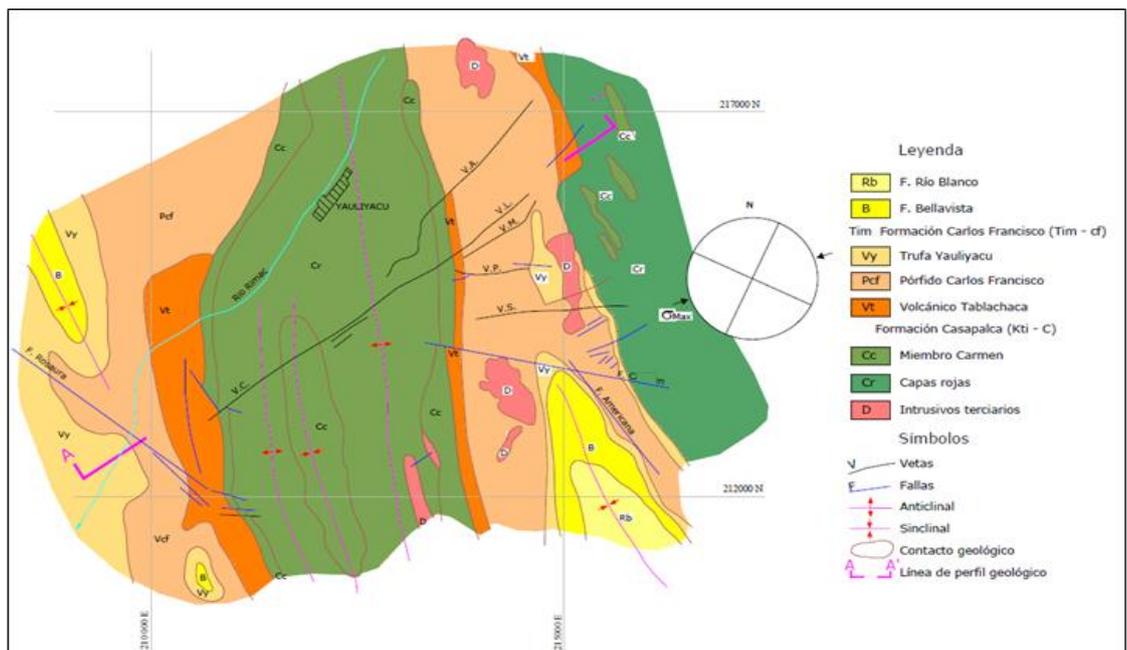
El referido sistema de fracturamiento moderno, es relativamente intenso y afecta al conjunto de todas las rocas (sedimentarias, intrusivas y volcánicas) que afloran en el área de estudio. Se ha observado que estas fracturas son persistentes en profundidad, aunque en zonas la roca se mantiene relativamente masiva.

#### **Plegamientos**

Las unidades estratigráficas en el distrito están plegadas, teniendo sus ejes con rumbo general de N40 – 55 W, lo que hace que sean aproximadamente paralelos al lineamiento general de los Andes. La estructura de mayor importancia es el anticlinorium Casapalca que presenta plegamientos (anticlinales y sinclinales) menores en sus flancos. En el flanco suroeste del anticlinorium Casapalca se tiene el sinclinal Río Blanco constituido por el pórfido Carlos Francisco, tufos Yauliyacu, volcánicos Río Blanco y calizas Bellavista. El

sinclinal americano en el cual todas las unidades volcánicas terciarias son expuestos, tiene como núcleo a las calizas Bellavista, se ubica bordeando el flanco noreste del anticlinorium Casapalca. Ver Figura N°03.

**Figura 3**  
*Geología Estructural*



**Fuente:** Departamento de Geología

### 2.2.5. Geología económica

La Geología económica de la mina Casapalca está relacionado a un yacimiento polimetálico, cuyas reservas minerales se encuentran en vetas y cuerpos, la mineralogía de la mena es simple constituida por: Esfalerita, Galena, Tetraedrita, Freibergita y Calcopirita. La ganga por: Pirita, Cuarzo, carbonatos (Calcita, calcita manganífera y Rodocrosita).

Generalmente la alteración de cajas sigue una secuencia normal, que va desde la zona de propilitización (a cierta distancia de las vetas), a la piritización, sericitización y silicificación cerca de ellas.

Vetas: que han sido formadas mediante el relleno de fisuras por proceso

hidrotermal con longitudes de 3 a 5 km en el rumbo. Generalmente las vetas tienen rumbo N30°E a N80°E con buzamientos variables. Las vetas más importantes son: la veta Oroya, Oroya Piso, Ana María, Carolina, Chisay, americana, Carla, Esperanza, Mariana, Mercedes N° 3, San Antonio, Reynaldo, Alejandro, Juanita y Juanita Sur.

### **Mineralogía,**

La mineralogía es simple, donde la mena principal está constituida por: Esfalerita, Galena, Tetraedrita, Freibergita y Calcopirita. La ganga por: Pirita, Cuarzo, carbonatos (Calcita, calcita manganífera y Rodocrosita). Otros minerales raros o localmente abundantes están representados por: oropimente, rejalgar, argentita, estibina, rodonita, fluorita, barita, hubnerita, bornita, arsenopirita, polibasita, boulangerita, jamesonita, bournonita y pirargirita.

### **Zonamiento de la mineralización,**

El zonamiento es más definido en la dirección horizontal, en la vertical está relacionado a la presencia de argentita, pirargirita y otros sulfosales acompañados de pirita y cuarzo en los niveles superiores de la mina.

H. E. Mckinstry, J.A. Noble (1932), I. Wu (1977) y A. Álvarez (1980) basados en cambios mineralógicos relacionados a las temperaturas de formación de los minerales y en la extensión e intensidad de la alteración de la roca encajonante determinaron tres zonas cuyas características son las siguientes:

#### **– Zona I**

- La mineralogía consiste de abundante esfalerita, con poca galena y tenantita; calcopirita es común, la pirita está presente en cristales cúbicos, hubnerita, y arsenopirita se encuentran ocasionalmente.

Minerales ganga están constituidos por: cuarzo y calcita. Calcita pura

ocurre en los extremos de la zona.

- Las rocas de la formación Casapalca están fuertemente silicificadas, además, presentan diseminaciones de pirita cubica y nódulos de epidota.

– Zona II

- La mineralogía consiste de calcopirita como inclusiones en esfalerita. Abundante tetraedrita es asociada con galena y esfalerita; la pirita está presente en piritoedros.

### **Alteración Hipógena de cajas**

La alteración en las cajas muestra una estrecha relación con la distribución zonal de la mineralogía. En la Zona I, la roca está intensamente silicificada y piritizada hasta una distancia de 300 a 400 m., fuera de las vetas. Pasando a la zona II el ancho de alteración es solamente de algunos cm.

Generalmente la alteración de cajas sigue una secuencia normal, que va desde la zona de propilitización (a cierta distancia de las vetas), a la piritización, sericitización y silicificación cerca de ellas.

Las rocas volcánicas en zonas de mayor alteración (cerca de las vetas) son de color gris claro conformado por: cuarzo, pirita y feldespatos alterados a sericita, no siendo estos distinguibles macroscópicamente.

A mayor distancia de las vetas, la epidotización es común y los cristales de feldespatos son visibles, los ferro magnesianos son alterados a clorita y epidota con presencia de pirita.

Las capas rojas y conglomerados, en la zona central de la mina, están intensamente alterados, extendiéndose la silicificación y piritización por varias decenas de metros. La pirita se presenta en cristales cúbicos y delgadas vetillas.

Hacia el sur en la zona de aguas calientes, la alteración es menos intensa.

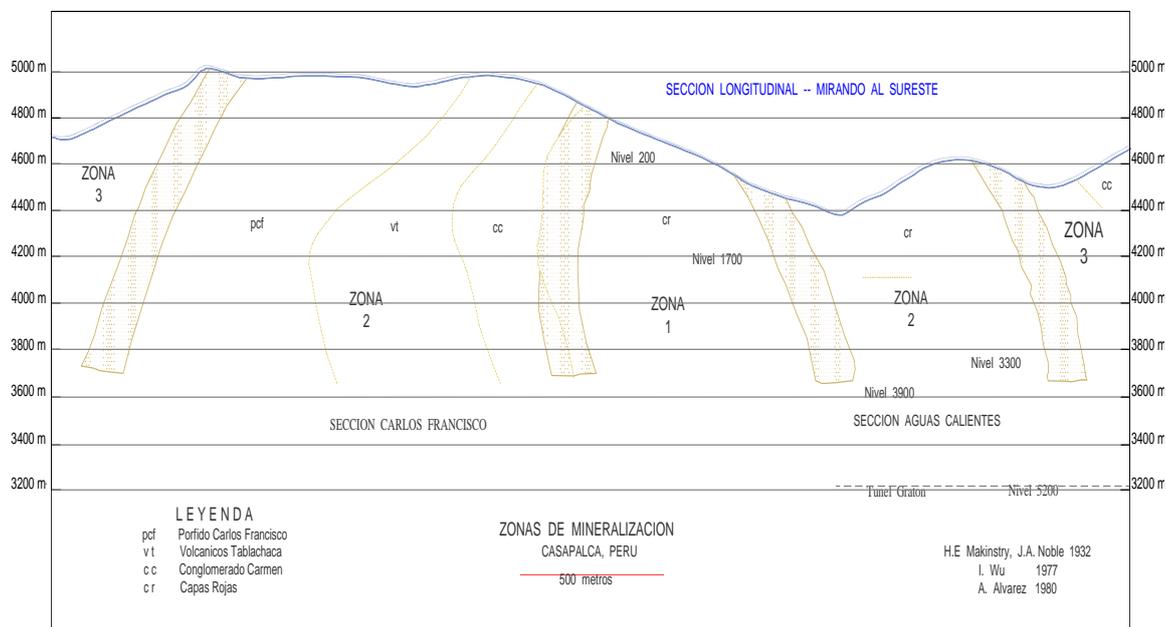
La roca se presenta blanqueada hasta unos 10 a 15 m, en las proximidades de las vetas la silicificación no es muy intensa. En la zona de alteración moderada la roca está epidotizada.

### Principales estructuras mineralizadas

**Vetas:** Que han sido formadas mediante el relleno de fisuras por proceso hidrotermal \*con longitudes de 3 a 5 km en el rumbo. Generalmente las vetas tienen rumbo N30°E a N80°E con buzamientos variables. Las vetas más importantes son: la veta Oroya, Oroya Piso, Ana María, Carolina, Chisay, Americana, Carla, Esperanza, Mariana, Mercedes N° 3, San Antonio, Reynaldo, Alejandro, Juanita y Juanita Sur. Ver figura N°04.

**Figura 4**

*Mostrando la Sección longitudinal, vertical a lo largo de la veta M y túnel Graton en el área de la mina*



**Fuente:** Departamento de Geología.

Los cuerpos se presentan en tres tipos:

- Stockworks y disseminaciones concordantes con la estratificación de areniscas y conglomerados.

- Vetillas y diseminaciones concordantes con la estratificación de areniscas y conglomerados
- Sulfuros masivos con niveles de conglomerado.

### **2.2.6. Operaciones Mineras**

La mina cuenta con 03 accesos principales, uno en la parte baja a la altura del Campamento Potosí a través del túnel Gubbins (XC - 800 NE) del nivel 4 a una altura de 4,225 m.s.n.m., otro en la parte mediana a la altura de acceso al campamento Carmen a través del túnel Álex (XC - 390 NE) del nivel 1 a una altura de 4,300 m.s.n.m. y el otro en la parte alta a la altura del campamento Carmen (XC- 435) del nivel 435 a una altura de 4,440 m.s.n.m., donde también se encuentran ubicadas las instalaciones industriales de la empresa.

La mina presenta 23 niveles desde el nivel 435 al nivel 23, con una diferencia de altura de 1150 metros y se viene explotando hasta el nivel 21 además se divide en 3 zonas principales: Cuerpo Mery, Esperanza y Oroya siendo la zona de Esperanza y Oroya donde se presenta los mejores valores de plata, especialmente en profundidad.

El nivel 1 túnel Álex (XC - 390 NE), por donde se extrae el 80% de la producción utilizando el pique 650 con skip de 10 TN hasta las tolvas de superficie, el otro ubicado en el nivel 435 (XC- 435), por donde se extrae el 20% de la producción utilizando el pique 790 con skip de 5 TN hasta las tolvas de superficie y una flota de 15 Volquetes de 32.5 TN promedio para el transporte hasta la planta de beneficio.

#### **– Método de corte y relleno ascendente convencional**

Este método de explotación consiste en el corte del mineral en forma de rebanadas horizontales, iniciando de la parte inferior del tajo hasta la parte

superior de esta en avanzada, dejando antes una capa de material de una altura de 3.0 m. sobre la galería principal de transporte conocida esta como puente, de tal manera que esta servirá como piso para la iniciación de una explotación en corte y relleno ascendente propiamente dicha.

### **Condiciones de Aplicación**

Para ser aplicado este método de explotación, los yacimientos minerales deben tener las siguientes condiciones:

- a) Buzamiento, pronunciado ( $70^\circ$ ).
- b) En cualquier depósito y terreno.
- c) Con cajas medianamente competentes.
- d) Las cajas del yacimiento pueden ser irregulares y no competentes.
- e) El mineral debe tener buena ley.
- f) Disponibilidad del material de relleno.

### **Preparación**

En el desarrollo y preparación de este método de explotación, se realiza el siguiente procedimiento:

- a) Se desarrolla una galería de transporte a lo largo del yacimiento (se corre la veta) en un nivel principal con una sección de 2.40 x 2.40 m. respectivamente.
- b) Las chimeneas y caminos son construidos a una distancia requerida según el diseño o planeamiento de desarrollo y/o explotación (las chimeneas de comunicación en Casapalca, tienen una altura de 50 m. desde el nivel inferior del tajo hasta el nivel superior del mismo, con una equidistancia de 50 m. entre chimeneas y caminos, de sección 1.20 x 2.40 m de doble compartimiento.

## **Explotación**

Las operaciones unitarias aplicadas en este método de explotación son las siguientes:

### **Perforación- voladura**

La ventaja de realizar una perforación horizontal con respecto a una perforación vertical, es la siguiente:

- Cuando los taladros son perforados horizontalmente (en Breasting), el techo volado tiende a quedar como una superficie lisa, por lo tanto, existe menos riesgo de caída de material sobre el maestro perforista, reduciendo de esta manera el riesgo de accidente.
- La perforación horizontal, permite una perforación selectiva, donde los minerales de baja ley pueden ser dejados en el tajeo como relleno, mientras que en la perforación vertical es prácticamente imposible determinar puesto que no se logra ver con claridad el material que se está perforando. La voladura se efectúa primeramente realizando el trazo de la malla de perforación, el cual influye directamente en la calidad de fragmentación del mineral, la densidad de carga explosiva, secuencia de iniciación y otros parámetros.
- El explosivo que se viene utilizando es el Emulnor de 1000, 3000 y 5000 de fabricación de FAMESA, dependiendo del tipo de voladura que se desea realizar, como accesorios de voladura se utilizan, carmex y mecha rápida Z-18 para iniciar el encendido. Las cuales ya vienen ensambladas, listas para realizar el amarre respectivo con la mecha rápida y los conectores.

### **2.2.7. Método de Explotación Sublevel Stopping**

En este método, el minado se ejecuta desde los niveles para predeterminar los intervalos verticales, los subniveles son desarrollados entre los niveles principales; el mineral derribado con taladros largos en abanico desde los subniveles, cae hacia la zona vacía el cual es recuperado desde los Draw Points, para luego ser transportados hacia los echaderos principales de extracción, en el caso de Casapalca, esta operación de minado se está ejecutando en la zona del Cuerpo Mery, los minerales económicos están constituido por esfalerita (zinc), tetraedrita (plata), galena (plomo) y la calcopirita (cobre). Los minerales de ganga están representados principalmente por pirita, calcita y cuarzo.

El minado con taladros en anillo o abanico, se inicia a partir del parte frontal preparado en la parte inferior del tajeo, la perforación se realiza a través de los subniveles con barrenos dispuestos de forma radial en todo el perímetro de la sección transversal de la galería.

#### **Condiciones de aplicación.**

Para ser aplicado este método de explotación, los yacimientos minerales deben tener las siguientes condiciones:

- a) El yacimiento debe ser vertical o próximo a ella.
- b) Las rocas encajonantes deben ser competentes y resistentes.
- e) El mineral debe ser también competente y con buena estabilidad.
- d) Los límites del yacimiento deben ser amplios y regulares

#### **Preparación.**

El trabajo de preparación consiste en la ejecución de accesos al cuerpo mineralizado Mery, construcción de subniveles para la perforación de taladros largos en abanico, labores para el acarreo de mineral, puntos de carguío y

extracción, construcción de caras libres para el derribo del mineral, labores de servicios y coladeros de mineral. La separación entre subniveles, tiene una longitud de 20 m. teniendo en este caso 3 subniveles dentro de los niveles principales. Los accesos están constituidos por rampas de 4.50 m. x 4.00 m. con una gradiente que varía de 12% a 15 %, los cuales están conectados a galerías con una sección de 4.00 m. x 4.00 m. que corren en forma paralela al rumbo del cuerpo mineralizado Mery, los subniveles están formados por la gama de cruceros al cuerpo mineralizado entre ambas cajas y sus dimensiones son de 4.00 m. x 4.00m.

### **Perforación- voladura**

La perforación se realiza con simbas H1254 de la marca Epiroc, es en forma de abanicos con taladros ascendentes distanciados de 1.20 m. a 1.50 m. y con longitudes hasta de 14.00 m. que se realizan desde las ventanas preparadas con una sección de 4.00 m. x 4.00 m.

### **Diámetro del taladro:**

El diámetro de la broca seleccionada, fue de 2.5", puesto que este diámetro guarda relación con el equipo de perforación, facilita el carguío del explosivo y evita parcialmente la concentración del mismo. El comportamiento de la roca con este diámetro es aceptable, si se considera que los taladros deberían permanecer limpios, sin desprendimientos interiores de materiales para poder ser cargados.

### **Longitud del taladro:**

La longitud adecuada varia hasta un máximo de 14 m. la misma que presenta una desviación de 1% cantidad que permite ejercer un buen control de la perforación y el posterior carguío de los taladros. Para el caso de emplear longitudes mayores de perforación, la desviación se incrementa, por lo que los resultados de la voladura son deficientes, debido a que en el extremo de los

taladros no se consigue la densidad de carga conveniente.

#### **Espaciamiento tope:**

De acuerdo a los estándares de perforación de Alpayana, se ha visto por conveniente fijar a 2.0 m. medidos perpendicularmente entre taladros en una sola dirección. La fragmentación obtenida es una de las razones principales de esta medida. Consecuentemente el número de taladros, no está establecido, porque esto depende del área de perforación.

#### **Espaciamiento entre anillos:**

La separación con el cual se ha obtenido los mejores resultados en Casapalca es de 1.50 m., por lo tanto, se ha establecido la malla de perforación de 2.00 m. x 1.50 m. respectivamente.

#### **Área de la malla de perforación**

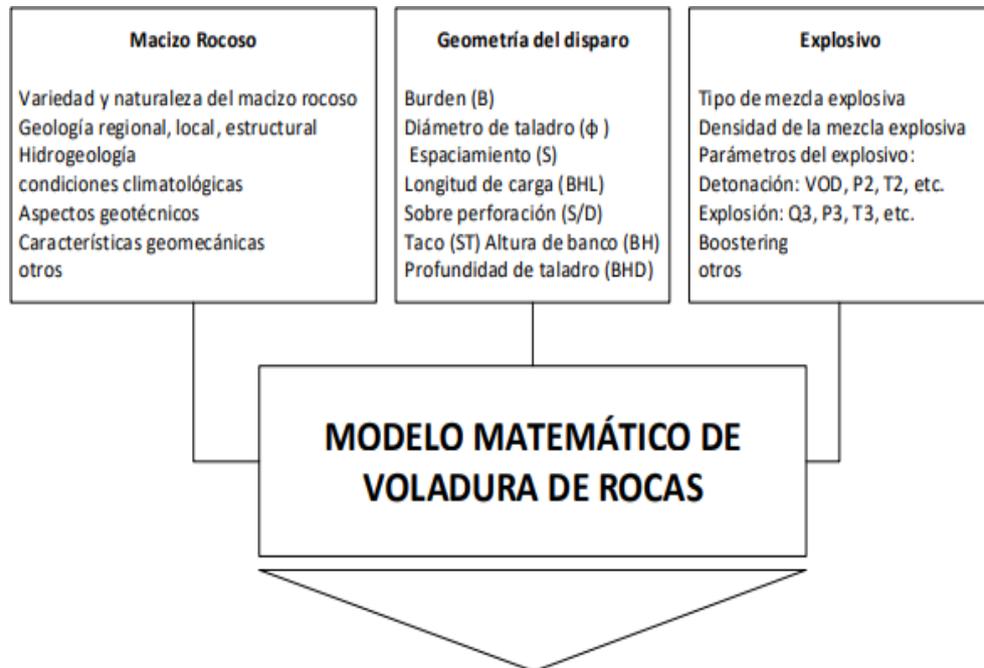
El diseño de anillos de perforación se realiza considerando un área expuesta en el ancho del block de 20 m. horizontales, por 25 m.

#### **2.2.8. Diseño de disparo primario**

Este paso conlleva muchos parámetros, factores y variables complejas y estocásticas que deben considerarse para encontrar un diseño óptimo basado en un modelo matemático Areyuna Dubó (2022). En ese sentido, se sienta el siguiente modelo matemático para voladura de rocas: Ver figura N°5.

**Figura 5**

*Modelo matemático de voladura de rocas*



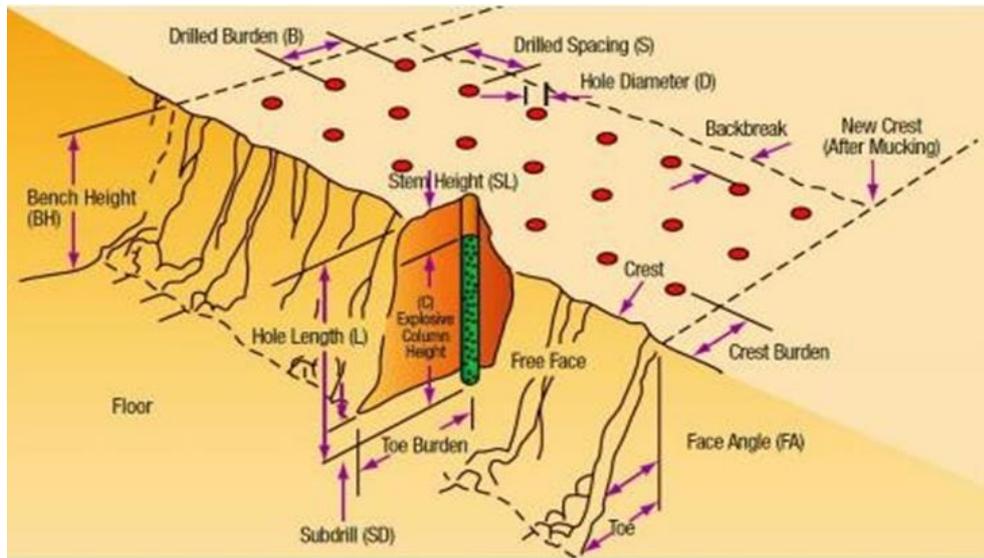
Fuente: Areyuna Dubó (2022)

Según Vera Giglio (2019), los parámetros que pueden ser alterados para lograr los objetivos deseados son los siguientes:

**Burden (B):** Este es uno de los parámetros más críticos en el diseño de voladura. La carga se define como la distancia mínima entre el eje del agujero y el lado libre más cercano, también definido como la distancia entre las diferentes filas de agujeros. Ver figura N°06.

**Espaciamiento (S):** Es la distancia entre los agujeros de una misma fila. Medido perpendicularmente a la carga y paralelo a la superficie libre del movimiento de roca esperado.

**Figura 6**  
*Variables geométricas*



*Fuente: Vera Giglio (2019)*

**Diámetro taladro ( $\Phi$ ):** El diámetro ideal de la broca para una operación en particular depende de los siguientes factores: - Propiedades de la masa rocosa a explotar. - Grado de fragmentación requerido. - La altura y la carga del banco dependen de la configuración.

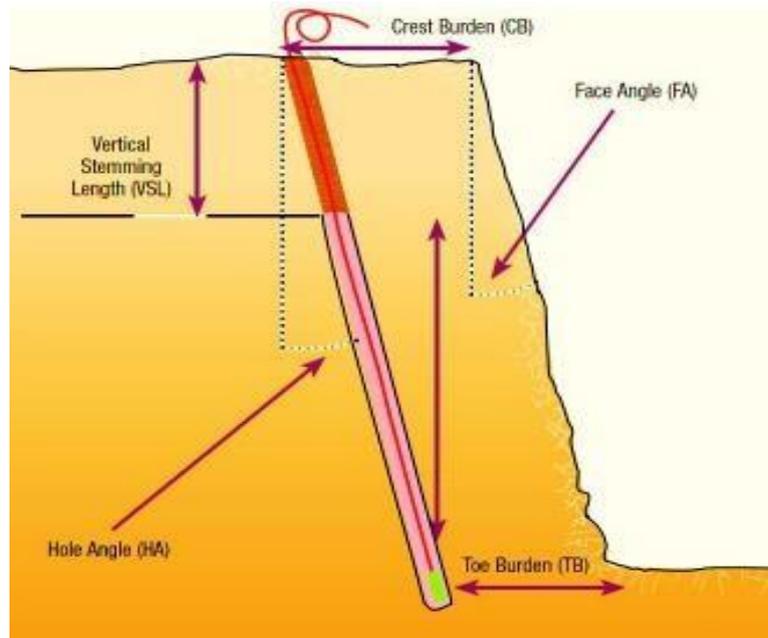
**Inclinación del taladro ( $\theta$ ):** Se define esencialmente como el ángulo, normalmente medido desde la vertical, en el que se perfora un pozo y no debe superar los 30 grados. Entre las ventajas de la perforación inclinada son una mejor fragmentación, un buen desplazamiento y una mejor utilización de la energía explosiva, y un menor nivel de vibración. Ver figura N°08.

**Altura de banco-Bench Height (BH):** Es definida por la distancia de la vertical entre cada nivel de suelo horizontal. A menos que las condiciones geológicas dicten lo contrario, todos los bancos deben tener la misma altura. La altura depende de: - las características físicas del yacimiento -el grado de selectividad necesario para separar el mineral - la tasa de producción.

**Taco:** Sustancia inerte para la contención de gases explosivos, que asegura una máxima contención de los gases explosivos y un alto nivel de seguridad de explosión. Bajo esa premisa, se presentan, a continuación, las variables geométricas y los parámetros geométricos controlables: Ver figura N°7.

**Figura 7**

*Parámetros geométricos controlables*



Fuente: Vera Giglio (2019) Variables controlables de voladura

- Según Oliva-González y Fort-Villavicencio (2019), estos parámetros se pueden organizar en:
- La energía de los explosivos
- Parámetros de explosión (P2, T2, E2, VOD, otros)
- Parámetros del detonante (P3, T3, E3, otros)
- Dirección de la explosión
- Sistema de iniciación
- Secuencia de salida.
- Tipo y retraso.

## Presión de detonación

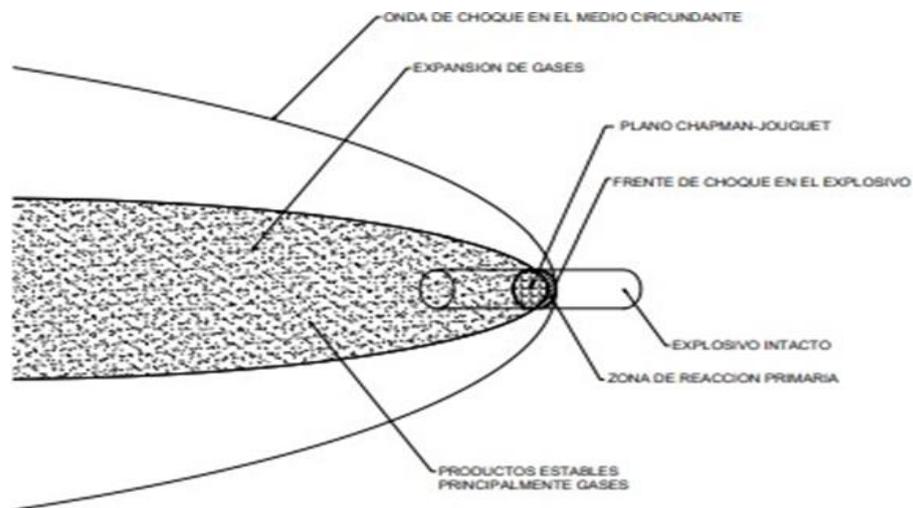
La presión de detonación es la máxima presión teórica alcanzada en la zona de reacción en una columna de explosivos en el plano Chapman-Jouquet. La mayoría de los explosivos comerciales alcanzan una presión de entre 0,29 y 3,48 x 10<sup>6</sup> PSI (2 a 24 GPa) (Quispe, 2019). La fórmula simplificada para estimar la presión de detonación de los explosivos granulares basada en la velocidad de detonación y la densidad

$$P = 0.00337\rho V^2$$

Donde: P: Presión de Detonación (psi)  $\rho$ : Densidad del explosivo V: velocidad de detonación(fps); presentando, a continuación, el proceso de detonación para explosivos cilíndricos: Ver figura N°08.

### Figura 8

#### *Parámetros geométricos controlables*



Fuente: Quispe (2019)

## Energía de los explosivos

La propiedad más importante de las mezclas explosivas es la energía. Durante la detonación, la energía de la explosión se almacena como energía química y luego se libera Fonseca et. al (2021). Ver tabla 02.

**Tabla 2**  
*Distribución de la energía*

Eventos	%
Desmenuzamiento de la pared del taladro	5
Formación de fractura radial y de tensión	10
Corte	5
Carlor y Luz	20
Movimiento de la masa rocosa	15
Vibración del terreno	30
Presión de aire	15
Total	100

Fuente: Fonseca et. al (2021)

### **Potencia**

La energía es el trabajo útil realizado por la energía de un explosivo. Se expresa como potencia absoluta en peso y potencia absoluta en volumen. También puede expresarse comparando la energía de un explosivo con la de un ANFO tomada al 100% para obtener una fuerza de peso relativo o una fuerza de volumen relativo. Potencia absoluta por peso (AWS): Esta es la medida de la cantidad de energía disponible, en cada gramo de explosivo. AWS del ANFO es 900 cal/g Castellanos Montealegre et.al (2020). se tiene lo siguiente:

Potencia absoluta por volumen (ABS): Es una medida de la cantidad de energía disponible (en calorías) en cada centímetro cúbico de explosivo. Esto se obtiene multiplicando el AWS por la densidad del explosivo.

$$ABS = AWS \times \rho \text{ explosivo}$$

### **Eficiencia de los explosivos**

Este factor muestra el grado de uso real de la energía liberada por una mezcla explosiva. La eficacia global depende de una variedad de factores, algunos de los cuales son internos e inherentes al explosivo como resultado de su

composición química, mientras que otros son externos y forman parte de las condiciones de construcción emplazamiento. J. Bastías et. al (2021).

La composición química del explosivo es un factor que contribuye a su efectividad general, mientras que los factores externos lo afectan, como el diseño o las condiciones de detonación del sitio. La determinación empírica del mismo se basa en pruebas de burbujas realizadas bajo el agua. J. Bastías et. al (2021). Ver tabla N°03.

**Tabla 3**

*Eficiencia de los explosivos*

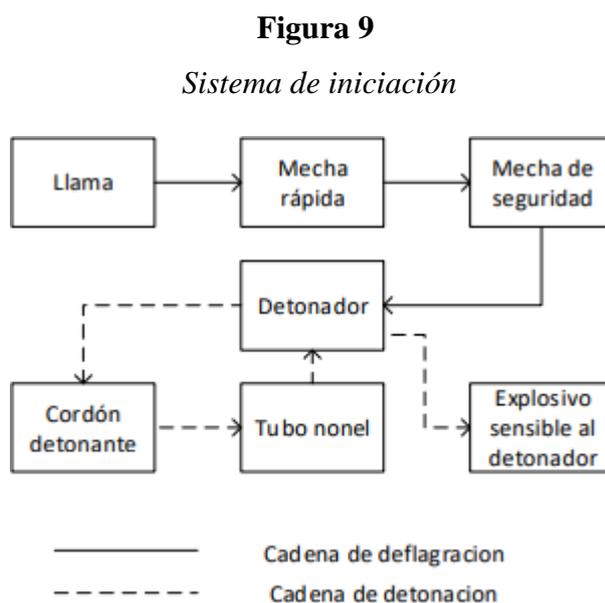
Mezcla explosiva	Eficiencia (%)
Explosivos moleculares	95-100
Emulsiones	90-95
Anfos pesados bombeables	75-90
Anfos pesados comunes	65-85
Acuageles	55-70
AN/FO	60-80
SAN/FO	50-70

Fuente: Castro (2018)

**Iniciación y sistemas de iniciación**

Los iniciadores son dispositivos que contienen altos explosivos que, al recibir un impulso mecánico o eléctrico apropiado, producen una detonación o acción de quemado. El sistema no eléctrico incluye capsula de carga, Fusible de seguridad, cordón detonante y tubos de transmisión no eléctricos. Los sistemas de iniciación no eléctricos incluyen una capsula o fulminante con periodo de retardo que están conectados a tubos de plástico o una línea de transmisión que lleva una Iniciación (choque y calor) para iniciar el fulminante. La fuente de energía en la tubería es una mezcla de gases o una capa interna de explosivo especial la cual es iniciada por cordón detonante (Chancasanampa, 2019). Ver

figura N° 9.



Fuente: Chancasanampa Janampa (2019)

### **Variables no controlables del macizo rocoso**

Propiedades de la roca: El rendimiento de la explosión está generalmente más influenciado por las propiedades de la roca que por sus propiedades explosivas. Las rocas tienen muchos puntos débiles, grietas y fisuras naturales, que fueron causadas por explosiones anteriores (Chancasanampa Janampa, 2019).

Resistencia a la compresión dinámica Cuando la onda de choque del explosivo excede la fuerza de compresión dinámica de la roca, se forma un anillo de roca aplastada alrededor de la carga. Esta zona aplastada es perjudicial para la transmisión de las ondas de tensión a la roca circundante. Por lo tanto, los explosivos de baja densidad deben usarse en rocas con baja resistencia a la compresión (Chancasanampa Janampa, 2019). Ver tabla N°03 y N°04.

**Tabla 4***Esfuerzo de compresión y tensión en rocas comunes*

Tipo de roca	Esfuerzo de compresión	
	(Mpa)	Esfuerzo de tensión (Mpa)
Granito	200-360	10-30
Diabasa	290-400	19-30
Mármol	150-190	15-20
Caliza	130-200	17-30

Fuente: Chancasanampa Janampa (2019)

**Tabla 5***Clasificación de la roca intacta en función del esfuerzo*

Clase	Descripción	Esfuerzo de compresión
		uniaxial (Mpa)
A	Resistencia muy alta	>220
B	Resistencia alta	110-220
C	Resistencia moderada	55-110
D	Resistencia baja	27,5-55
E	Resistencia muy baja	<27,5

Fuente: Chancasanampa Janampa (2019)

- Porosidad: La porosidad reduce la eficiencia de las operaciones de voladura. Se estima que la longitud de las grietas en las rocas muy porosas causadas por las ondas de tensión son sólo el 25% de la longitud de las grietas en las rocas no porosas. Esto significa que la roca muy porosa es principalmente aplastada por el empuje. Por esta razón, los gases post-ignición deben mantenerse a alta presión hasta que hayan hecho su trabajo (Chancasanampa Janampa, 2019). Ver tabla N°05.

**Tabla 6***Clasificación de roca por densidad y porosidad*

Clase	Densidad		Porosidad	
	g/cm <sup>3</sup>	Descripción	%	Descripción
1	<1,8	Muy bajo	>30	Muy alta
2	1,8-2,2	Bajo	30-15	Alta
3	2,2-2,55	Moderado	15-5	Moderado
4	2,55-2,75	Alta	5-1	Bajo
5	>2,75	Muy alta	<1	Muy bajo

Fuente: Chancasanampa Janampa (2019)

- El aumento de la densidad de la roca a menudo conduce a una disminución del desplazamiento de un material rocoso fragmentado por las explosiones (Chancasanampa Janampa, 2019). Ver tabla N°06.

**Tabla 7***Relación densidad de roca y velocidad sísmica*

Tipo de roca	Densidad (Kg/dm <sup>3</sup> )	Velocidad sísmica (m/s)
Granito	2,7-2,8	4500-6000
Gneis	2,5-2,6	4000-6000
Caliza	2,4-2,7	3000-4500
Dolomita	2,5-2,6	4500-5000
Arenisca	1,8-2	1500-2000
Arcilla	2,5-2,7	4000-5000

Fuente: Chancasanampa Janampa (2019)

- Contenido de agua: La saturación del agua eleva considerablemente la velocidad de propagación de las ondas de tensión al llenar los poros con agua, lo que constituye un buen medio para la transmisión de las ondas

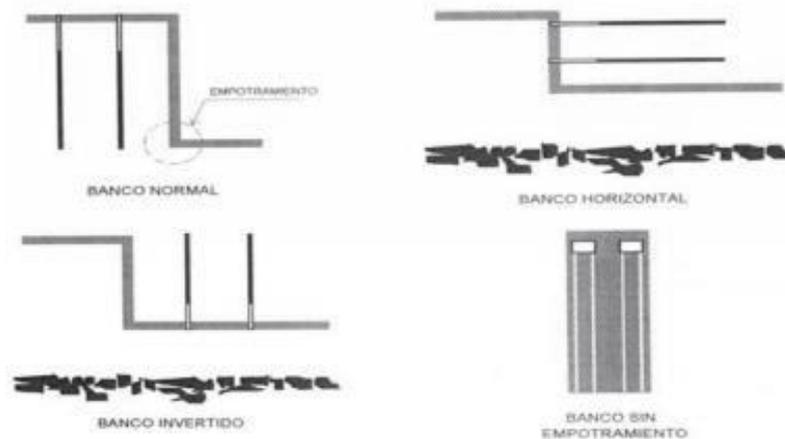
elásticas. La roca porosa, no obstante, reduce tanto la resistencia a la compresión como a la tracción a causa de la menor fricción característica entre las superficies de los granos (Mallqui Balbín, 2019).

### Diseños de malla para producción de tajeos

La voladura que tiene una configuración similar a la de un banco se define generalmente como el lugar donde la carga puede interactuar con dos puntales libres en la mina subterránea. A continuación, se presentan los bancos en minería subterránea: Ver figura N°10.

**Figura 10**

*Ubicación de taladros con respecto a planos de juntas*



Fuente: Mallqui Balbín (2019)

Basado en la gravedad específica de la roca y del explosivo propuso la siguiente ecuación para el burden:

$$B = 3.15 D_e (SG_e / SG_r)^{1/3}$$

Donde: B = Burden (ft)

$D_e$  = Diámetro del explosivo (in)  $SG_e$  = Densidad del explosivo

(g/cm<sup>3</sup>)  $SG_r$  = Densidad de la roca (m<sup>3</sup>)

Esta propuesta de ecuación se basaba en una relación matemática entre la

densidad y la fuerza de la roca. Además, entre la densidad del explosivo y la energía liberada. No obstante, los explosivos como las emulsiones, salvo esta generalidad en la relación, por lo que esta ecuación no es una buena aproximación.

A fin de dimensionar mejor la carga para este tipo de explosivos (emulsiones) se propone utilizar la siguiente ecuación propuesta, que tiene en cuenta la potencia relativa de un explosivo en relación con la potencia relativa de un explosivo estándar (ANFO)

$$B = 0.67 De (RBS/SGr)^{1/3}$$

Donde: B = Burden (ft)

De = Diámetro del explosivo (in)

RBS = Potencia relativa por volumen (ANFO=100) SGr = Densidad de la roca (g/cm<sup>3</sup>)

### **Correcciones para números de filas**

Algunas operaciones de voladura utilizan tres o más filas de agujeros. Si el momento de los agujeros de explosión no es el correcto, es más difícil romper las últimas filas de agujeros en las operaciones de voladura de varias filas porque las primeras filas proporcionan una resistencia adicional y las últimas filas proporcionan una contención adicional. Para ajustar las cargas de la tercera, cuarta y última fila, se puede utilizar el factor de corrección Kr como se muestra a continuación: Ver tabla N°07

**Tabla 8**

*Corrección por número de filas*

Filas	Kr
1 – 2 filas de taladros	1,0
3 o más filas de taladros	0,9

Fuente: Mallqui (2019)

### **2.2.9. Productividad**

Es la capacidad de utilizar los recursos disponibles para producir un producto se denomina productividad Leyva Vázquez (2022). Esto se define de la siguiente manera:

$$\text{Productividad} = \text{Producto} / \text{Recursos}$$

La productividad total se puede calcular a la contribución individual de cada factor a la producción de las actividades, la productividad de los factores puede utilizarse para calcular la productividad total. Para lograr aumentos de la productividad que añadan valor a la empresa, la administración debe enfocarse en las fluctuaciones de la productividad en lugar de la productividad en sí misma en este contexto Hamann-Salcedo (2019) Se calculan estas ganancias de la siguiente manera:

$$\Delta P = \frac{(Pf - Pi)}{Pi}$$

Donde:

$\Delta P$ : Variación de la productividad

Pf: Productividad final

Pi: Productividad inicial

El aumento de la productividad ( $\Delta P$ ) es un resultado directo del aumento

de la producción, el rendimiento y las ganancias, así como la reducción de costos, desperdicios y riesgos, así como una reducción general en el tiempo del ciclo. Esto se refleja en la aceleración del ciclo de caja y la creación de valor agregado para las empresas en general y las mineras en particular Artigas (2019).

Las actividades de medición, evaluación, planificación y mejora de la productividad forman parte del ciclo de productividad. La clave para implementar la gestión de la productividad general es actuar y evaluar simultáneamente el impacto de las modificaciones realizadas en cada uno de los componentes involucrados en el proceso de producción Llach (2020).

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

#### **Diseño de la malla perforación**

Liu y otro (2020) refieren que el diseño de la malla perforación es por donde se desplaza el material que se evapora bajo la acción del explosivo. Siendo un borde libre en el frente, por lo que la función del corte o desgarró es abrir el siguiente borde libre, lo que significa que la tierra agujerada se ha realizado por el corte en el siguiente borde libre.

#### **Productividad**

La productividad es una medida que nos permite comparar las tasas de producción (bienes y servicios) y los factores de producción (recursos como mano de obra o capital) con todos los bienes y servicios producidos. Por tanto, productividad no es sinónimo de productividad laboral; aunque la productividad depende del trabajo Andrés Navarro & Sempere Ripoll (2023).

#### **Perforación**

Avilés Castro & García Rodríguez (2022) refieren que es el proceso mediante el cual la operación que se lleva a cabo con el objetivo de abrir tiros en

el macizo rocoso con una distribución y geometría adecuada para alojar cargas explosivas.

### **Voladura**

Es un proceso que destruye completamente por medio de explosivos originándose su explosión. Mejor dicho, la voladura es la colocación de una carga de explosivo ante un conjunto de barrenos Cornejo Velázquez & Zárata Araiza (2021).

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

Se estructuran de la siguiente forma:

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si se diseña la malla de perforación y voladura con taladros largos en el tajeo entonces se incrementará la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Si se determinan los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura entonces se incrementa la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.
- b) Si se aplica el diseño de la malla de perforación y voladura de taladros largos entonces disminuye los costos en el minado de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

## **2.5. Identificación de variables**

**Variable dependiente:** Productividad en los tajeos de la veta M4 -M5

**Variable independiente:** Diseño de la malla de perforación

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Se expresan de la siguiente manera: Tabla 8: Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 9**

*Definición operacional de variable e indicadores*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador
<b>Variable independiente:</b> Diseño de la malla de perforación	Diseño de estructura con mallas de compactación con el fin de lograr una fragmentación de rocas, dependiendo de parámetros como calidad de roca, cantidad de explosivos, tipo de material excavado, etc. Gomez et. al (2023)	El diseño de la malla de perforación se realizó en la compañía minera Alpayana–unidad americana	Variables controlables de voladura  Diseño de malla para producción de tajeos  Diseño de disparo primario	Producción por tajeo cc diseño de mallas (Ton/día) Consumo de explosivos por tonelada (Kg/Ton) Consumo de explosivos por tonelada (Kg/Ton)
<b>Variable dependiente:</b> Productividad	Es la eficiencia con la que se utilizan los insumos durante el proceso de producción. Meller (2019)	La productividad ayudara al tajeo en el incremento de producción	Desempeño en En la eficiencia Y eficacia en los tajeos	Tonelaje de rotura por corte Taladros usados por corte

**Fuente:** Elaboración propia

## **CAPÍTULO III**

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

#### **3.1. Tipo de investigación**

La elección del tipo de investigación determinará los pasos a seguir en la investigación y orientará al investigador, las técnicas y métodos que podrá utilizar. En conjunto, define todo el enfoque de la investigación, lo que influye en las herramientas e incluso en la forma en que se analizan los datos recopilados. Como tal, la puntuación del tipo de estudio en el estudio será un paso importante en la metodología, ya que determina su enfoque. Ante esto, el presente estudio se clasifica dentro de la categoría de aplicado Guevara Alban et. al (2020). Bajo esa premisa, el objetivo de la investigación consiste en la aplicación de los conocimientos de diseño para una malla de perforación y voladura que cumpla con los requerimientos de aumento de la productividad en los tajeos.

#### **3.2. Nivel de investigación**

Ochoa & Yunkor (2021) refieren que el nivel de investigación es el grado de investigación básico o especializado se refiere al nivel de conocimiento del investigador sobre el problema, evento o fenómeno que se estudia. Siendo el nivel

de investigación descriptivo en el presente trabajo.

### **3.3. Métodos de investigación**

El método de investigación no solo se refiere a un conjunto de pasos en el proceso de investigación, sino que también incluye la práctica dirigida por la investigación siguiendo un modelo, donde cada proceso tiene su propia estructura y dinámica de aplicación, es decir, su propio método, establecido por Finol de Franco & Vera Solórzano (2020). Siendo el método científico el presente trabajo, el cual establece la estructuración de actividades secuenciales que permitirán la recolección, procesamiento y análisis de datos con el fin de obtener resultados confiables al 95%.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es descriptivo y se basa en la observación directa y la inferencia científica Iglesias (2021)

De ese modo, el diseño de la investigación está estructurado, de manera estrecha, con la recopilación de requerimientos y parámetros necesarios que se adaptan a las condiciones suscitadas en el campo para el diseño de la malla de perforación y voladura en los tajeos. El modelo del mismo, sigue el siguiente comportamiento:



Dónde:

M = muestra.

O = observación

### **3.5. Población y muestra**

La población de la investigación es definida por Hernández León & Coello González (2020) como al conjunto de cosas que se quieren investigar, ya

sean cosas, eventos, circunstancias o un grupo de personas.

Mencionado lo anterior, la población de la investigación está compuesta por todos los tajeos de la compañía minera Alpayana - Unidad Americana.

La muestra es un subconjunto de unidades de población, así como un subconjunto de personas u objetos de interés, siendo una medida obtenida por todas las personas u objetos de interés. Robles Pastor (2019). En ese sentido, la muestra está constituido por el tajeo 370 de la galería 295 NE en el nivel 21 en la veta M4 – M5; por ser la más representativa ya que la veta tiene un comportamiento de veta angosta y de mayor potencia.

### **3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos**

**Técnicas,** Según Hernandez Mendoza y Duana Avila (2020), las técnicas en aplicar se basarán en la observación directa, la cual se compone, con la visualización del fenómeno de investigación en su entorno natural para proceder a describirlo en función de la interpretación del investigador.

**Instrumentos,** Los instrumentos de recopilación de datos son herramientas creadas por el investigador o proporcionadas por algunos métodos para combinar datos mediante procesos organizados. Sánchez Martínez (2022).

Dicho lo anterior, los instrumentos de recolección de datos serán la ficha de observación y formatos de excel diseñados por el investigador para facilitar el proceso de recopilación de la información.

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

Flores-Kanter & Medrano (2019) refieren que para analizar las tabulaciones realizadas y describirlas en función de las principales medidas de tendencia central, las técnicas e instrumentos de procesamiento de datos utilizarán estadística descriptiva. Después de esto, se realizarán los análisis pertinentes.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

Consiste en asignar un número no negativo llamado frecuencia a cada valor diferente que toma o puede tomar la variable, que es el número de veces que se repite ese valor. Como resultado, se puede compilar la información en una tabla, también conocida como distribución empírica de frecuencias José Hernández & López Morán (2019). Por lo que el presente manuscrito no se presenta el tratamiento estadístico.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

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

##### **4.1.1. Estructura mineralizada**

Alpayana Unidad Americana, es un yacimiento que presenta un conjunto de vetas que se han sido formadas por el relleno de fracturas. Las vetas son de carácter mesotermal lo cual indica su gran profundidad de mineralización. También existe la presencia de cuerpos mineralizados los cuales se han formado por el reemplazamiento de capas favorables de caliza, arenisca y lutitas calcáreas adyacentes a las vetas.

##### **Cuerpos mineralizados**

La mineralización se presenta de dos tipos:

- ✓ Sulfuros masivos que son el resultado del reemplazamiento de estratos favorables.
- ✓ Diseminaciones y vetillas de sulfuros que son rellenos de fisuras y reemplazamiento de elementos calcáreos.

## **Investigaciones básicas**

### **Caracterización de la masa rocosa**

Para la caracterización de la masa rocosa de la Mina Alpayana, se registraron datos a partir del mapeo geomecánico de las labores subterráneas, que se llevó a cabo utilizando el "método directo por celdas de detalle". Se realizaron mediciones sistemáticas de las discontinuidades presentes en una estación de medición, representada por un tramo de extensión variable de la roca expuesta en las excavaciones subterráneas en los niveles: 1, 2, 3A, 3, 4B, 4A, 5A y 5. Durante el mapeo geomecánico, se registraron las discontinuidades principales, información que fue suministrada por el Departamento de Geología de Mina Alpayana.

Como se muestra en las Figuras 11, 12 y 13, en el área de evaluación se presentan tres sistemas típicos de discontinuidades. Estos sistemas son:

Sistema 1: Con rumbo  $N12^{\circ}W$  y buzamiento  $74^{\circ}SW$ .

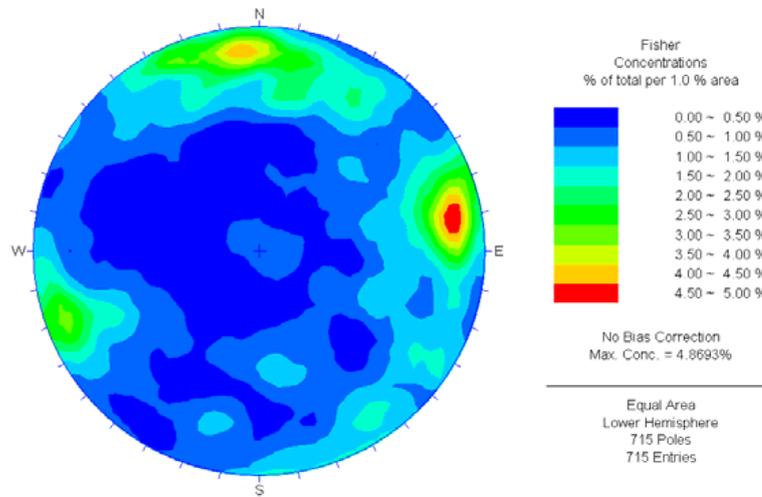
Sistema 2: Con rumbo  $N82^{\circ}E$  y buzamiento  $76^{\circ}SE$ .

Sistema 3: Con rumbo  $N20^{\circ}W$  y buzamiento  $76^{\circ}NE$ .

Todos estos sistemas están conformados mayormente por diaclasas.

**Figura 11**

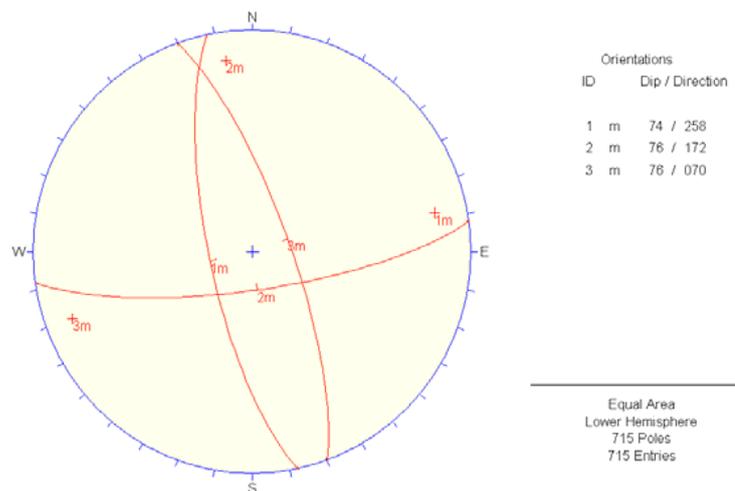
*Diagrama estereográfico de contornos del compuesto general*



Fuente: Departamento de geomecánica

**Figura 12**

*Diagrama estereográfico de planos principales del compuesto*

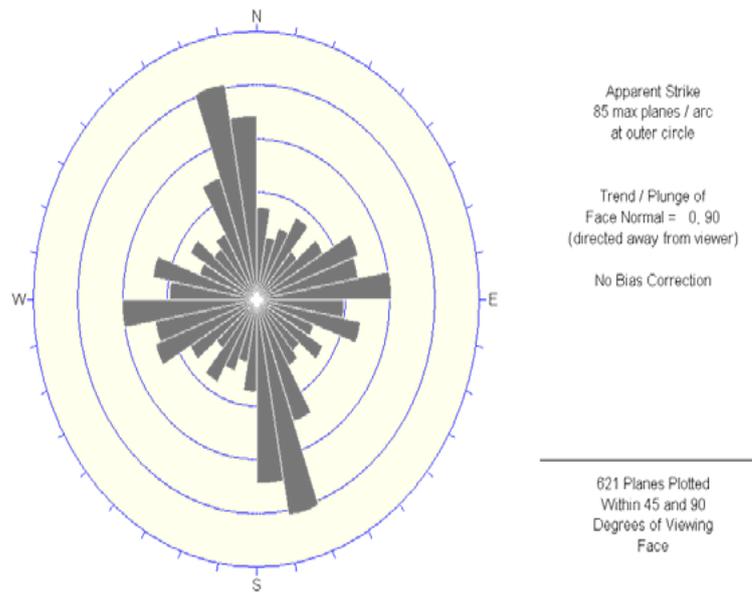


Fuente: Departamento de geomecánica

Figura 13: Diagrama de roseta de discontinuidades del compuesto

**Figura 13**

*Diagrama de roseta de discontinuidades del compósito*



Fuente: Departamento de geomecánica

En el diseño los parámetros de explotación sublevel stoping con taladros largos es de suma importancia establecer los parámetros geomecánicos del macizo rocoso el cual se indica en la siguiente tabla.

**Tabla 10**

*Especificaciones del macizo rocoso*

cajas	RMR	Descripción
Caja techo	63	Buena
Veta MS	57	Regular
Caja piso	61	Buena

Fuente: Oficina Geomecánica

- ✓ Calidad de roca(RQD); para el tajeo 370 galería 295 NE Nivel 21 tiene el valor de 75% clasificándose como roca media.
- ✓ Resistencia a la tracción; para el tajeo 370 galería 295 NE la resistencia a la tracción tiene un valor promedio de 19.1 Mpa, este valor se obtuvo en

pruebas de laboratorio.

- ✓ Resistencia a la tracción dinámica; para el tajeo 370 galería 295 NE tiene el valor promedio de 86 Mpa.

#### **4.1.2. Minado con taladros largos**

Taladros largos, es una aplicación de los principios de la voladura de banco a cielo abierto a las explotaciones subterráneas, consiste en el arranque del puente entre dos niveles de perforación en sentido descendente y ascendente. El sistema establece un único nivel base (nivel de extracción) para varios subniveles superiores, la distancia entre los niveles base oscila entre 80 y 100 metros.

#### **4.1.3. Determinación del tajeo 370 galería 295 NE Nivel 21 Veta M4 – M5**

De acuerdo a las consideraciones geomecánicas para la aplicación de los taladros largos, se tiene que los bloques de explotación deben estar en un promedio de 90 metros de altura, y en base a las características geomecánicas y análisis geomecánicas correspondientes se determina dejar pilares, a esto también contribuye el tamaño del bloque mineralizado que a veces no presentan mineralización de nivel a nivel.

Respecto al diseño de los taladros largos en vetas comprende de chimeneas slots taladros de producción que después de la explotación serán rellenados en avanzada desde el nivel superior y así evitar estallidos y/o desprendimientos de las cajas. De todo lo señalado anteriormente el tajo 370 en la galería 295 cumple con estas. De igual manera se tiene un ancho de minado de 2 m y una altura de 20 m, el cual permite realizar perforación con taladros positivos y taladros negativos.

## 4.2. Presentación Análisis e interpretación de resultados

Para realizar el análisis y la interpretación de los datos consignados, debemos realizar los cálculos correspondientes para hallar el burden con los diferentes modelos matemáticos tomando como base los datos antes mencionados.

### 4.2.1. Diseño del método de explotación

Se diseña dependiendo de las dimensiones del block mineralizado, el tajeo representativo es el 370 galería 295 NE nivel 21 veta M4-M5, porque es una veta que angosta y luego aumenta su potencia, sus características son de 108 m de largo por 70 m de altura, altura entre subniveles de perforación es de 20 m, se realizan perforaciones (+) y (-), en paralelo de 10 a 12 m de longitud de 64mm de diámetro, para evitar desviaciones de taladros, asegurar las cajas y minimizar la dilución, Bz 70° el cual facilita el desplazamiento del material roto dentro del tajo. Ver los Figura N° 14 y Figura N° 15. La extracción se realiza en retirada por la galería que se corrió en la veta. Para el acceso al subnivel intermedio se debe contar con rampas de acceso, etc.

Al respecto; a, continuación se realiza una serie de cálculos como:

#### Factor de corrección (JSF)

#### Índice de calidad de roca equivalente(ERQD) }

CALIDAD DE ROCA	Factor de corrección - JSF
Fuerte	1
Medio	0.9
Débil	0.8
Muy débil	0.7

$$ERQD = RQD * JSF$$

Donde:

RQD= Calidad de roca de acuerdo a Deer Miller

JSF= Factor de corrección

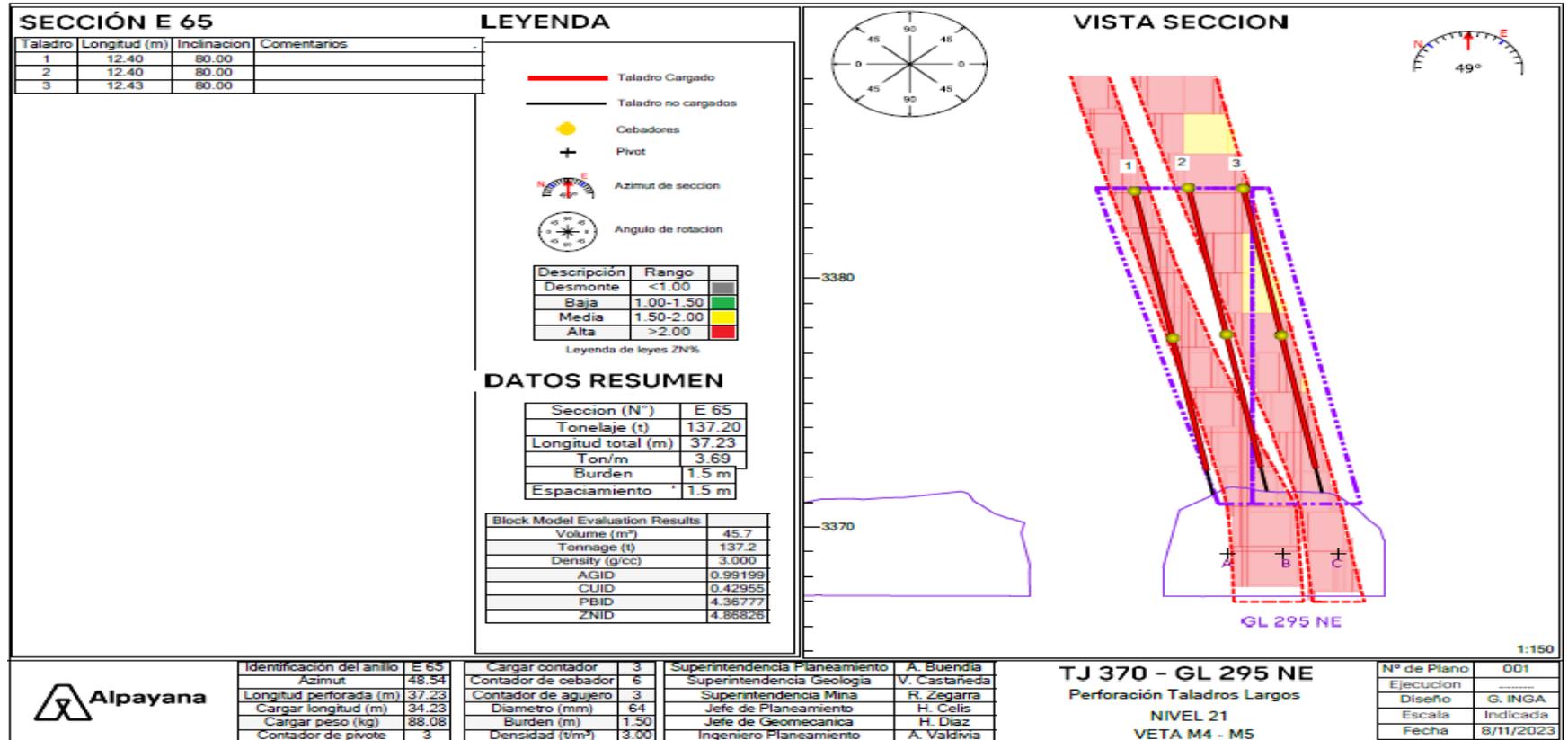
Reemplazando valores tenemos:

$$ERQD = 85 * 0.9$$

$$ERQD = 76.50$$

Figura 14

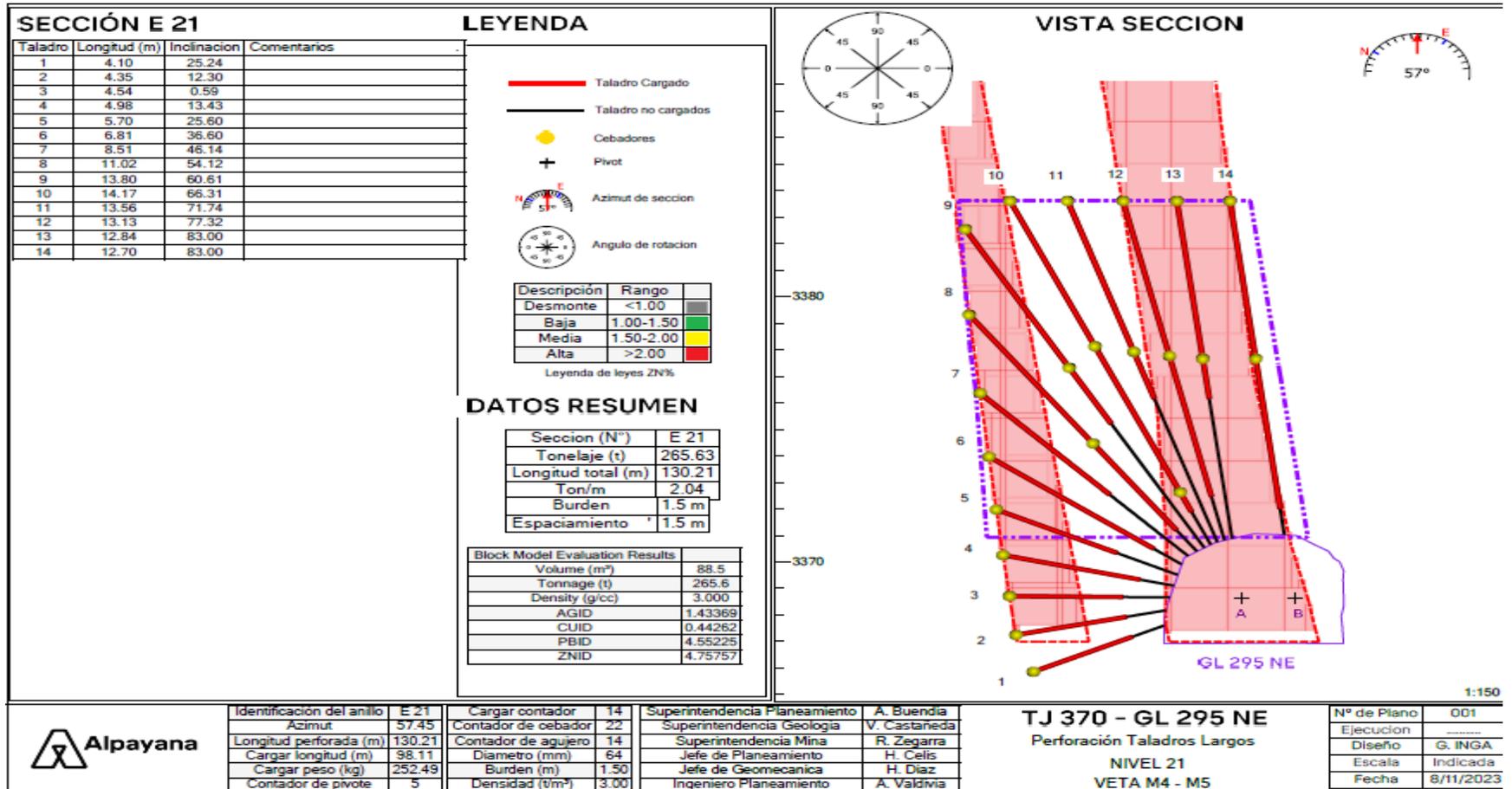
Plano N°13 Tajeo 370 Galería 295 NE Nivel 21 Veta M4-M5. Sección 65



Fuente: Oficina de Planeamiento

Figura 15

Plano N°13 Tajeo 370 Galería 295 NE Nivel 21 Veta M4-M5. Sección 21



Fuente: Oficina de Planeamiento

### **Factor de volabilidad (Kv)**

$$\mathbf{Kv=1.96 - 0.27 * \ln(ERQD)}$$

Donde:

ERQD= Índice de calidad de roca equivalente

Reemplazando valores tenemos:

$$Kv = 1.96 - 0.27 * \ln (76.50)$$

$$Kv = 0.79$$

### **Esfuerzo de tracción dinámica (Std)**

$$\mathbf{Std = 4.5 * St \dots Mpa}$$

Donde:

St = Resistencia a la tracción estática (Mpa)

Reemplazando valores tenemos:

$$Std = 4.5 * 9.60$$

$$Std= 43.20 \text{ Mpa}$$

### **Coficiente(K)**

$$\mathbf{K = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)*(1-2\nu)}}$$

Donde:

$\nu$  = Ratio de Poisson

Reemplazando valores tenemos:

$$K = \frac{(1-0.15)}{(1+0.15)*(1-0.30)}$$

$$K = 1.06$$

### **Presión de detonación(Pd)**

$$\mathbf{P_{explosivo} = \rho_{explosivo} \times \left(\frac{VOD_{explosivo}}{2}\right)^2}$$

Donde:

$\rho_{explosivo}$  = Densidad del explosivo g/cm<sup>3</sup>

$VOD_{explosivo}$  = Velocidad de detonación del explosivo Km/s

Reemplazando valores tenemos:

$$P_{explosivo} = 0.80 \times \left(\frac{3.10}{2}\right)^2$$

$Pd = 1.92$  Gpa

### Longitud de taco

En la práctica, las longitudes óptimas de taco conforme disminuyen la competencia y la calidad de la roca, variando entre 20 y 60 D. Si es posible se debe mantener una longitud de taco superior a 25 D para evitar los problemas de onda aérea, proyecciones, cortes y sobre excavaciones. Taco = 25\*0.063 m

Taco = 1.5 m

### Cálculos de perforación y voladura

Para la prueba de la hipótesis en el presente trabajo de investigación es necesario realizar los cálculos del burden y el espaciamiento usando los modelos Matemáticos.

**Perforación.** - Ver la tabla N°10

**Tabla 11**

*Características para la perforación en Tj 370*

#### TAJO 370 Gal 295 NE

	Antes	Actual
Equipo	Muki LHBP-2R	Simba 1254
Longitud de perforación	13 m	13 m
Diámetro de taladro	64 mm	64 mm
Forma de perforación	Inclinado	Inclinado
Subniveles de perforación	G1 295	G1 295
Espaciamiento malla	1.3	1.3
Burden malla	1.5	1.5

Fuente: Oficina de planeamiento

### Medidas para el diseño

- Altura para la perforación: 10.5 m
- Geometría de la malla: Rectangular

- Diámetro de perforación: 2 ½”
- Burden promedio: 1.5
- Espaciamiento promedio: 1.3 metros
- Tipo de perforación: Roto-percusión

### **Especificaciones técnicas de la perforadora**

- Modelo Montabert HC 50
- Presión de percusión 130 bar
- Velocidad de rotación 0 – 237 rpm

### **Malla de perforación**

La malla de perforación se ha calculado con los diferentes modelos matemáticos que se tiene, sin embargo, se ha escogido los modelos que más parámetros usan en sus fórmulas, determinando así en función al modelo matemático de Langefors. En las tablas del 09 al 15 se detalla la obtención del burden. Ver tabla N°11.

**Tabla 12**

*Cálculo del burden según Konya*

Parámetros de perforación y voladura con taladros largos	
<b>Tj370 Galería 295</b> <b>Veta M4 - M5</b> <b>TEORIA DE KONYA</b> <b>BURDEN</b>	
Indicadores de perforación y voladura	
<input type="checkbox"/>	<b>Diámetro del explosivo(pulg)</b>
<input type="checkbox"/> <b>exp</b>	<b>Densidad del explosivo (gr/cc)</b>
<input type="checkbox"/> <b>roca</b>	<b>Peso específico de la roca (gr/cc)</b>
<b>Burden = 3.15 x <input type="checkbox"/> x (<input type="checkbox"/> exp / <input type="checkbox"/> roca) ^ 1/3</b>	
<input type="checkbox"/>	<b>2.5</b>
<input type="checkbox"/> <b>exp</b>	<b>0.80</b>
<input type="checkbox"/> <b>roca</b>	<b>2.7</b>
<b>B</b>	<b>5.25 pies = 1.60 m</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13**

*Calculo del burden según Ash*

Parámetros de perforación y voladura con taladros largos																	
<b>Tj370 Galería 295 TEORIA</b> <b>DE ASH BURDEN</b>																	
Indicadores de perforación y voladura																	
<input type="checkbox"/>	<b>Diámetro del explosivo(pulg)</b>																
<b>Kb</b>	<b>Constante</b>																
<b>Burden = Kb x <input type="checkbox"/></b>																	
<input type="checkbox"/>	<b>2.5</b>																
<b>Kb</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de explosivo</th> <th>Roca blanda</th> <th>Roca media</th> <th>Roca dura</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Baja densidad(0,8 - 0,9 gr/cc); baja potencia</td> <td>30</td> <td>25</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Baja densidad(1 - 1,2 gr/cc); potencia media</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Baja densidad(1,3 - 1,4 gr/cc); alta potencia</td> <td>40</td> <td>35</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de explosivo	Roca blanda	Roca media	Roca dura	Baja densidad(0,8 - 0,9 gr/cc); baja potencia	30	25	20	Baja densidad(1 - 1,2 gr/cc); potencia media	35	30	25	Baja densidad(1,3 - 1,4 gr/cc); alta potencia	40	35	30
Tipo de explosivo	Roca blanda	Roca media	Roca dura														
Baja densidad(0,8 - 0,9 gr/cc); baja potencia	30	25	20														
Baja densidad(1 - 1,2 gr/cc); potencia media	35	30	25														
Baja densidad(1,3 - 1,4 gr/cc); alta potencia	40	35	30														
<b>B</b>	<b>5.2 pies = 1.59 m</b>																

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14**

*Cálculo del burden según Langefors*

Parámetros de perforación y voladura con taladros largos	
<b>Tj370 Galería 295</b> <b>TEORIA DE LANGEFORS</b> <b>BURDEN</b>	
<b>Indicadores de perforación, voladura y geomecánicos</b>	
□	<b>Diámetro del taladro(mm)</b>
<b>c</b>	<b>Factor de roca</b>
<b>f</b>	<b>Factor de fijación</b>
<b>E/B</b>	<b>Coefficiente entre el espaciamiento y el burden</b>
<b>dc</b>	<b>Densidad de carga (gr/cc)</b>
<b>RWS</b>	<b>Densidad relativa del explosivo a usar</b>
<b>L</b>	<b>Dimensión del taladro</b>
<b>Burden máximo = <math>\square / 33 \times ((dc \times RWS) / (c \times f \times E/B))^{1/2}</math></b> <b>Burden Práctico = B máx. – (2 x □) – (0,02 x L)</b>	
□	<b>64</b>
<b>c</b>	<b>1.05</b>
<b>f</b>	<b>1</b>
<b>E/B</b>	<b>1.2</b>
<b>dc</b>	<b>0.80</b>
<b>RWS</b>	<b>1</b>
<b>L</b>	<b>13</b>
<b>B máx.</b>	<b>1.545 m</b>
<b>B practico</b>	<b>1.15 m = 1.20 m</b>
<b>S</b>	<b>(1 a 1.40) x B</b>
<b>S</b>	<b>1.30 m</b>

Fuente: Elaboración propia

#### **4.2.2. Voladura**

No hay presencia de exceso de agua en el Tj 370. De igual forma la roca es de dureza media y no se observa resaltantes fallas que puedan dificultar el

proceso de carguío de los taladros.

Para introducir el ANFO en los taladros, se usa el Jetanol de 125 Kg que esta provisionada de una manguera antiestática y rígida, la cual se introduce en el taladro con el fin de confinar bien el explosivo y así aprovechar toda su energía. Los explosivos y accesorios a usar son:

- Emulnor 5000 1 ½” x 8”.
- Nitrato de Amonio al 94%.
- Fanel periodo corto.
- Pentacord
- Mecha armada.

#### **Carguío del taladro**

Se inicia introduciendo el tubo PVC de 2” en el taladro para optimizar la carga lineal, luego se carga el cebo el cual es un Emulnor 5000 1 ½” x 8” con su respectivo accesorio(fanel), después se completa el carguío de la columna explosiva con nitrato de amonio al 94% bien confinado, finalmente con un taco de arcilla.

### **4.3. Prueba de hipótesis**

#### **4.3.1. Hipótesis general**

**Ha:** “Si se diseña la malla de perforación y voladura con taladros largos en el tajeo entonces se incrementará la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.”

**Ho:** “Si se diseña la malla de perforación y voladura con taladros largos en el tajeo entonces no influye en el incremento de la productividad en la veta m4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad

Americana.”

Para demostrar la hipótesis se aplicó la prueba de t de Student para muestras emparejadas, considerando que corresponden a la veta M4-M5 es una sola muestra. Asimismo, se realiza la comparación de las medias de productividad expresadas en tonelada/taladro.

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas							
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Productividad Toneladas/Taladro (Antes) - Productividad Toneladas/Taladro (Actual)	17,51000	0,43841	0,31000	21,4489	13,57108	56,484	1	0,011

Dado que el p-valor (0,011) es menor a 0,05, rechazamos la hipótesis nula (Ho) y aceptamos la hipótesis alternativa (Ha), lo cual indica que la diferencia en la productividad antes (28.09 ton/tal) y Actual (45.60 ton/tal) de implementar la malla es estadísticamente significativa.

De acuerdo a la tabla N°20, del Anexo 02 sobre datos de los taladros lagos del Tj 370 Gal 295 SE Nivel 21 Veta M4 M5, se tiene información para la determinación de la tabla N°14, en relación a la productividad.

**Tabla 15**  
*Productividad*

	<b>Antes</b>	<b>Actual</b>
<b>Largo de tajo(m)</b>	108	108
<b>Burden(m)</b>	1.3	1.5
<b>Espaciamiento(m)</b>	0.8	1.5
<b>Taladros por sección</b>	3	2
<b>Longitud de taladro promedio(m)</b>	13	88.94
<b>Número de secciones a perforar</b>	60	65
<b>Número de taladros</b>	273	273
<b>Metros perforados(m)</b>	3549	5780.93
<b>Ton en el corte(ton)</b>	12448.7	
<b>Ton/tal</b>	28.09	45.60

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 16**  
*Indicadores*

	<b>Actual</b>	<b>Antes</b>
<b>Metros perforados promedio(m)</b>	88.94	39.47
<b>Metros cargados promedio(m)</b>	64.28	36.47
<b>Toneladas rotas promedio(ton)/Tal</b>	191.51	85.21
<b>Anfo utilizado promedio(kg)</b>	158.85	91.18
<b>Factor de potencia(kg/ton)</b>	0.86	1.07
<b>Carga operante(Kg/retardo)</b>	19.12	29.43
<b>Índice de perforación(ton/m)</b>	2.38	3.23

*Fuente: Elaboración propia*

Como podemos apreciar en las tablas del 14 y 15 al aplicar los parámetros de perforación y voladura con taladros largos influye significativamente en la productividad porque se optimiza de una valor de 28.09 Ton/tal a 45.60Ton/tal además se puede observar parámetros de perforación y voladura donde se amplía de 39.47 m a 88.94 m en la cantidad de metros perforados por sección, y el factor de potencia disminuye en 0.21 Kg/ton generando menor vibración en las paredes

del tajo, también aumentando un indicador muy importante en taladros largos que es el índice de perforación y así generar un mayor rendimiento en la explotación del Tj 370 Gal 295 SE Nivel 21 Veta M4 M5.

#### **4.3.2. Hipótesis específicas 1**

**Ha:** Si se determinan los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura entonces se incrementa la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

**Ho:** Si se determinan los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura entonces no se incrementa la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

En la determinación de esta hipótesis se requiere, la presentación del equipo de perforación y sus accesorios; así, como también de los materiales y accesorios de la voladura.

Para analizar esta hipótesis sobre la relación entre la determinación de los requerimientos del diseño de la malla de perforación y voladura y la productividad en los tajeos, evaluaremos los resultados de la prueba t de Student para muestras emparejadas.

	<b>Prueba de muestras emparejadas</b>								
	Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
			Inferior	Superior					
Productividad Toneladas/Taladro (Antes) - Productividad Toneladas/Taladro (Actual)	17,51000	0,43841	0,31000	21,4489	13,57108	56,484	1	0,011	

Dado que el p-valor es menor a 0,05, rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptamos la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), esto indica que la diferencia observada es estadísticamente significativa, en la productividad antes (28.09 ton/tal) y Actual (45.60 ton/tal) de la determinan los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura.

La prueba t muestra que hubo un incremento significativo en la productividad de toneladas por taladro después del cambio.

### **Equipo de perforación SIMBA H1254 J 12**

Se proporciona a los operadores los planos de diseño de los talados a perforar: longitud de taladro, Angulo de perforación en galería de producción de 4.0m x 4.0m para el Nivel 21. La Cia. Alpayana cuenta con 10 equipos de perforación de los cuales 6 son Simbas de última generación que garantizan una excelente perforación.

Los equipos cuentan con un programa de mantenimiento preventivo y rutinario para mantener los accesorios de perforación óptimas condiciones de operación. Se considera

el posicionamiento del equipo de acuerdo a las secciones o anillos marcados por topografía en el terreno. Ver tabla N°16.

**Tabla 17**

*Parámetros actuales de perforación del simba H1254(J12)*

PARAMETROS DE OPERACIÓN		
SITUACION ACTUAL		
• EQUIPÓ Simba (J - 12)		
PRESION	Baja (Bar)	Alta (Bar)
ROTACION	40	50
PERCUSION	140	180
AVANCE	40	50
BARRIDO		12
RPM		172

- *Fuente:* Cía. Minera Casapalca

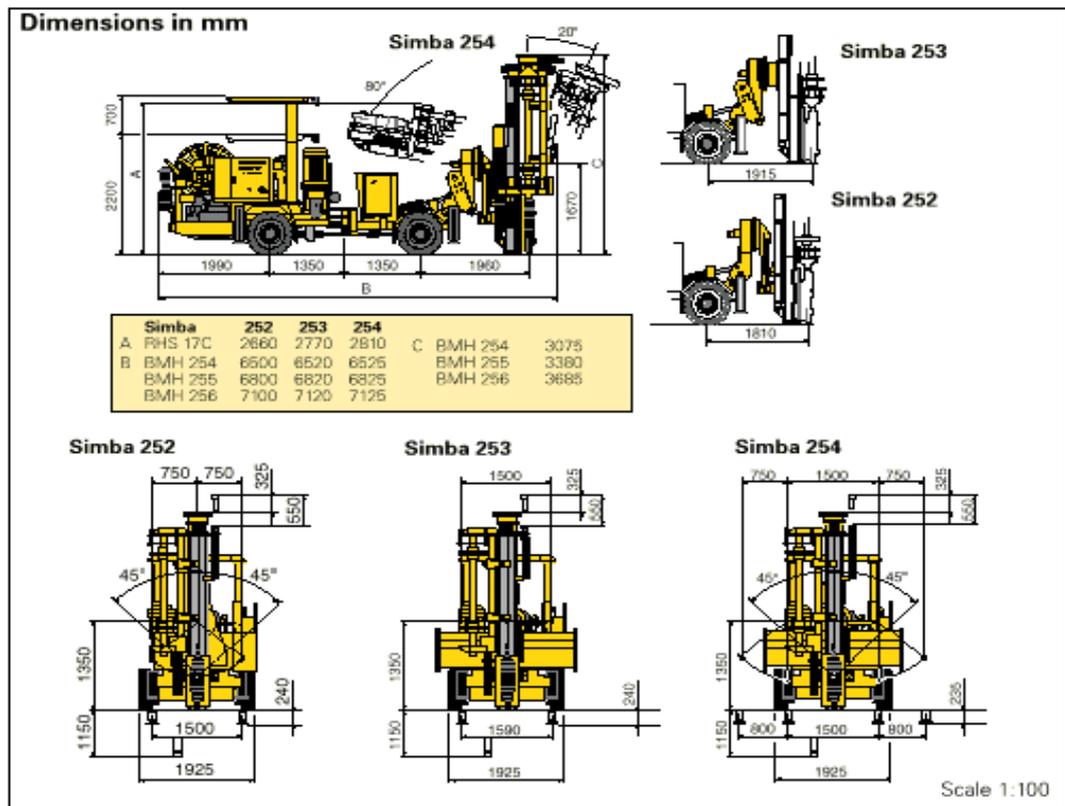
El Simba H1254 es un equipo de perforación de taladros largos. Proporciona una gran área de cobertura y puede perforar barrenos paralelos y en abanico, tanto ascendentes y descendentes. Está equipado con un martillo en cabeza de alto rendimiento que proporciona una solución sostenible para la perforación de barrenos largos. Ver figura N°16.

#### **Características y ventajas**

- Martillo COP 1838ME de 18 kW para alta disponibilidad y productividad, o COP 2550UX de 25 kW para barrenos de mayor diámetro y condiciones de terreno más difíciles.
- Carrusel con capacidad de 17+1 barras para perforación mecanizada de hasta 32 m.
- Control remoto en la línea de visión para una alta movilidad.
- Brazo péndulo y unidad de rotación deslizante para una alta cobertura.

**Figura 16**

*Dimensiones del Simba H1254*



Fuente: Epiroc Production Drilling Rigs

**Factores relacionados a la condición y estado del equipo:**

**Factor en el taladro:**

- ✓ Tipo y calidad de roca. Ver figura N°17

**Figura 17**

*Calidad de la roca*



Fuente: Manual de perforación-voladura taladros largos

**Factores durante la perforación: Ver figura N°18**

- ✓ Estado de la columna de perforación (desgaste roscas)

Figura 18: Estado de columna de perforación

**Figura 18**

*Estado de columna de perforación*



Fuente: Manual de perforación-voladura taladros largos

- ✓ Tipo de columna y longitud de taladros

Columna T - 38

Broca Retráctil 2 1/2" (64mm)

Barra MF T38 – 5'

Shank Adapter COP. 1238 – T38

- ✓ Intervalo oportuno y correcto de las brocas

Antes que aparezca las microfisuras

Antes que ocurra la rotura de los insertos.

Antes que los planos de desgaste sean mayores a 1/3 del diámetro del inserto.

Antes que la velocidad de penetración disminuya.

Antes que se presente el contracono.

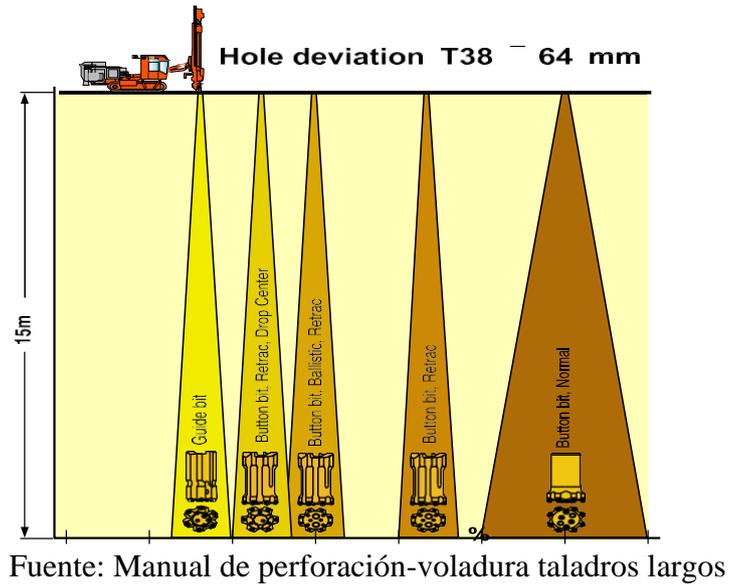
Antes que la desviación del taladro este fuera de control.

- ✓ Tipo y diámetro de broca (Ver figura N°19)

Figura N°19: Tipo y diámetro de broca

### Figura 19

*Tipo y diámetro de broca*



### Parámetros de perforación: (Ver figura N°20)

Rotación

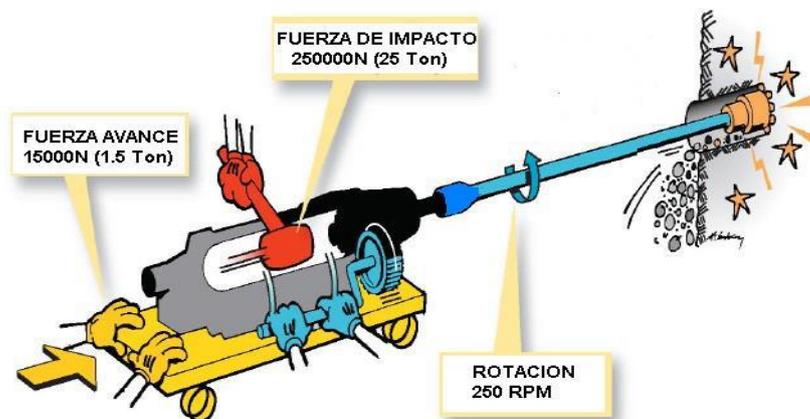
Percusión

Fuerza de avance

Sistemanti-atasque Barrido

### Figura 20

*Fuerzas mecánicas de las perforadoras*



En cuanto a la voladura se menciona los siguientes requerimientos:

### **Explosivo**

Se viene trabajando con anfo, SUPERFAM, explosivo a granel con el que se logra el 100% del confinamiento dentro del taladro y garantiza un alto poder rompedor. De Cebo: Emulsión encartuchada de 5000 EMULNOR-80, 1 ½ X 8. Grado de confinamiento está en relación a la presión de aire, necesitándose entre 50 y 70 psi, para óptimos resultados. Tiempos de Secuencia (retardos), se cuenta con series recomendables para una óptima distribución al momento del carguío.

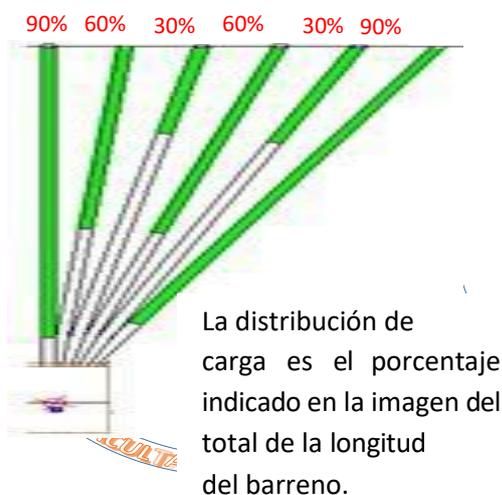
Los taladros son cargados manteniendo la salida en “V”, a fin de utilizar la energía de proyección para lograr mejor fragmentación. El equipo de carguío: Jetanol (cargador neumático manual).

Accesorios de voladura: Fanel de periodo corto (18.00m) : Carmex (guías ensamblada)

Explosivos : Cordón detonante (pentacord 5P) : Emulsión 5000 (1 1/8” x 8”) Agente de voladura : Anfo. Ver figura N°21.

**Figura 21**

*Distribución de carga*



Fuente: Área Planeamiento, Cía. Minera Alpayana

### Granulometría esperada.

Formula de Kusnetsov

$$T_b = F_r \times \left[ \frac{VR_0}{Q} \right]^{0.8} \times Q^{1.8}$$

T<sub>b</sub>= tamaño medio de los fragmentos de voladura (cm) Fr= Factor de roca

Rocas

muy blandas Fr=3 (f=3a 5) Rocas blandas Fr=5 (f=5a 8)

Rocas medias Fr=7 (f=8 a10)

Rocas duras, fisuradas Fr=10 (f=10 a 14)

Rocas duras, homogéneas Fr=13 (f=12 a 6)

VR<sub>0</sub> = Volumen de rocas fragmentada por barreno (m<sup>3</sup>)

Q = cantidad de explosivo equivalente a la carga de explosivo por barreno (kg)

Aplicación de la fórmula: Fr= Rocas medias= 7 VR<sub>0</sub>=29.5 m<sup>3</sup>

Q= 25.43 kg

T<sub>b</sub>=10.7 cm

#### 4.3.3. Hipótesis específica 2

Ha: Si se aplica el diseño de la malla de perforación y voladura de taladros largos entonces disminuye los costos en el minado de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

Ho: Si se aplica el diseño de la malla de perforación y voladura de taladros largos entonces no disminuye los costos en el minado de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.

Para evaluar esta hipótesis, revisaremos los resultados de la prueba de t de Student para muestras emparejadas, centrada en los costos de perforación y

voladura antes y actual en la aplicación del diseño de la malla de perforación con taladros largos.

**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas						t	gl	Sig. (bilatera l)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia					
				Inferior	Superior				
Costos de perforación y voladura (Antes) - Costos de perforación y voladura (Actual)	1,90000	0,14142	0,10000	0,62938	3,17062	19,000	1	0,033	

Dado que el p-valor (0,033) es menor a 0,05, rechazamos la hipótesis nula ( $H_0$ ), esto indica que la diferencia en los costos es estadísticamente significativa antes (\$5.70) y actual (\$3.80) del diseño de la malla de perforación y voladura de taladros largos

La prueba t indica que hubo una disminución significativa en los costos de perforación y voladura tras el cambio realizado. Esta reducción es estadísticamente confiable, con una diferencia promedio de 1.90 unidades monetarias y un intervalo de confianza relativamente estrecho. Esto sugiere que el cambio implementado (quizás en procesos, técnicas o herramientas) tuvo un efecto positivo en la reducción de costos.

Para el análisis del cálculo se realiza de acuerdo tabla N°17.

**Tabla 18***Costos en perforación y voladura*

Operación	Unidad	Precio unitario \$/unidad	Antes		Actual	
			Cantidad	Total	Cantidad	Total
<b>PERFORACION</b>						
<b>Metros perforados</b>	m	10	39.47	394.70	26.3	263.00
<b>Aceros</b>	m	1.22		48.15		32.09
<b>Total perforación</b>				442.85		295.09
<b>VOLADURA</b>						
<b>N° taladros</b>			3		2	
<b>Toneladas</b>	ton	85.21				
<b>Anfo</b>	Kg	0.37	91.18	33.73	37.91	14.03
<b>Emulsión</b>	Kg	0.54	0.17	0.09	0.17	0.09
<b>Faneles</b>	Pza	2.39	3	7.17	2	4.78
<b>Carmex</b>	Pza	0.422	1	0.42	1	0.42
<b>Cordon detonante</b>	m	0.105	10	1.05	10	1.05
<b>Tubo 2" x 3m PVC</b>	m	0.95		0.00	9	8.55

Fuente: Elaboración Propia

Se calculó los costos de perforación y voladura para la malla de perforación dando como resultado 3.8 \$/ton que es menor a la calculada con la malla anterior donde es de 5.7 \$/ton, generando una diferencia significativa de 1.9 \$/ton entonces al aplicar la malla si disminuye el costo de perforación y voladura y por ende el costo de producción.

#### 4.4. Discusión de los resultados

La aplicación de los parámetros de perforación y voladura optimiza el número de taladros por fila de acuerdo a las características geológicas de la veta, ya sea como veta angosta y veta más amplia, entre 3 a 15 taladros, con un espaciamiento de 0.80 m a 1.5 m entre taladros, manteniéndose el burden en 1.50

m como promedio, lo cual disminuye la cantidad de taladros y por ende la cantidad de metros perforados en la explotación de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana, obteniendo una productividad de 191.51 Ton/secc, mientras que con la malla anterior la productividad fue de 85.21Ton/secc.

En cuanto a los requerimientos de perforación se requiere el equipo Simba 1254, es un equipo de perforación de taladros largos. Proporciona una gran área de cobertura y puede perforar barrenos paralelos y en abanico, tanto ascendentes y descendentes. Está equipado con un martillo en cabeza de alto rendimiento que proporciona una solución sostenible para la perforación de barrenos largos. En cuanto a los explosivos, se hace uso de anfo, SUPERFAM, explosivo a granel con el que se logra el 100% del confinamiento dentro del taladro y garantiza un alto poder rompedor. De Cebo: Emulsión encartuchada de 5000 EMULNOR-80, 1 ½ X 8. Grado de confinamiento está en relación a la presión de aire, necesiándose entre 50 y 70 psi, para óptimos resultados. Tiempos de Secuencia (retardos), se cuenta con series recomendables para una óptima distribución al momento del carguío.

Al aplicar los parámetros para la explotación con taladros largos en la veta M4 y M5 el costo de perforación y voladura disminuye en 1.32 \$/ton siendo su costo anterior 5.7 \$/ton y el actual de 3.8 \$/ton.

## CONCLUSIONES

- 1) La Compañía Minera Alpayana Unidad Americana, se caracteriza por tener un conjunto de estructuras mineralizadas como vetas y cuerpos, en el presente estudio se tomó en cuenta la veta M4-M5 en el nivel 21 por ser el más representativo, ya que se presenta como una veta delgada a una más potente.
- 2) La aplicación de los nuevos parámetros de perforación y voladura con taladros largos influye significativamente en la productividad de veta M4 – M5 en el nivel 21, obteniéndose 45.60 Ton/tal mientras con la malla anterior fue de 28.09 Ton/tal.
- 3) Al aplicar los nuevos parámetros de diseño es importante tener los requerimientos como los equipos de perforación de taladros largos Simba 1254; que, proporciona una gran área de cobertura y puede perforar barrenos paralelos y en abanico, tanto ascendentes y descendentes. Está equipado con un martillo en cabeza de alto rendimiento que proporciona una solución sostenible para la perforación de barrenos largos.
- 4) Con los nuevos parámetros obtenidos logramos disminuir el costo de minado en 1.9 \$/ton; siendo su costo anterior 5.7 \$/ton y el actual de 3.8\$/ton.
- 5) Con estos resultados demostrados la empresa minera Alpayana S.A optimizó el minado de la veta M4 – M5 en el nivel 21, que sirvió de modelo para los demás tajeos dentro de sus operaciones mineras.

## **RECOMENDACIONES**

- 1) Es importante controlar el estricto cumplimiento de la malla, burden y espaciamientos analizados en el presente estudio durante la perforación y voladura para lograr la productividad.
- 2) Se recomienda en la ubicación de los taladros, que debe estar más alejados a la caja techo; porque esta caja es la que más se complica después de la voladura por efectos de la gravedad.
- 3) Asimismo, se recomienda que para la explotación en el tajeo la longitud de taladro no sea mayor de 20 m, para minimizar la desviación.
- 4) En la parte de seguridad, es recomendable el uso de dos iniciadores por taladro en la voladura de los taladros largos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cáceres, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Calderón, A. (2018). *Optimización de costos mediante modificación de variables controlables de perforación y voladura en mina El Toro* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Cegarra, J. (2011). *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Barcelona: Diaz de Santos.
- Chancasanampa, W. (2019). *Diseño de la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajeos en la Compañía Minera Great Panther Coricancha S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Condori, F., & Porras, L. (2015). *Diseño de malla de perforación y voladura para~ la reducción de costos en los frentes de avances de la U.E.A. Reliquias -Corporación Minera Castrovirreyna S.A.* (Tesis de pregrado). Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Correa, O. (2017). *Diseño de malla de perforación y voladura para incrementar la producción de mineral en el tajo 1708 en consorcio minero horizonte s.a. la libertad.* (Tesis de pregrado). Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Correa, O. (2017). *Diseño de malla de perforación y voladura para incrementar la producción de mineral en el tajo 1708 en consorcio minero Horizonte S.A. La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2016). *Metodología de la investigación*. D.F: McGraw Hill.

- Hurtado, J. (2016). *Metodología de la investigación*. Caracas, Venezuela: Quirón.
- Karpov, V., Timonin, V., Konurin, A., & Chernienkov, E. (2019). Improvement of drilling efficiency in underground mines in Russia. *Challenges for development in mining science and mining industry*, 262, 1-10.
- López, C. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Barcelona: Instituto Tecnológico GeoMinero de España.
- Luo, Y., Peng, J., Li, L., He, J., Gan, X., Yin, K., & Zhao, Z. (2016). Development of a specially designed drill bit for down-the-hole air hammer to reduce dust production in the drilling process. *Journal of Cleaner Production*, 1-9.
- Mallqui, Y. (2019). *Diseño de malla de perforación y voladura de taladros largos en Sub Level Stopping para incrementar la productividad en mina Marcapunta Sur de Sociedad Minera El Brocal S.A.A* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
- Mamani, I. (2016). *Análisis y optimización de costos de perforación y voladura en la construcción del canal San Antonio de Miña* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Quispe, N. (2019). *Diseño de mallas de perforación y voladura y su incidencia en los costos unitarios en la unidad minera Chalhuane* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Rojas, K., & Flores, Y. (2017). *Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos en el nivel 1590 cruce 520 de la E.U.A. Capitana - Corporación Laces S.A.C. Minería y Construcción -Caraveli - Arequipa* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.

Velásquez, J. (2015). *Estudio descriptivo de optimización de los agentes de voladura para controlar y/o mitigar los gases tóxicos generados al ser detonados, Cajamarca - Perú, 2015* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

## **ANEXOS**

**ANEXO N°1: Instrumentos de Recolección de datos**

**Información General del tajeo 370 Galería 295 NE Nivel 21 de la veta M4-M5, que consta de 65 secciones**

**Tabla N° 20: Datos de la taladros lagos del Tj 370 Gal 295 SE Nivel 21 Veta M4 M5**

Sección	Tonelaje	Longitud	ton/m	Carga Long	Carga peso	Contador Piv	Carg cont	Cont ceb	Cont agujero	Vol	N°Taladros
1	230.53	67.3	3.43	49.77	128.09	3	7	12	9	78.8	9
2	238.02	71.34	3.34	54.41	140.02	4	9	14	9	79.3	9
3	254.34	78.8	3.11	59.56	153.39	3	10	16	10	81.8	10
4	153	78.69	1.96	59.2	152.38	6	10	16	10	51.3	10
5	121.32	77.2	1.57	56.58	145.61	3	10	16	10	40.4	10
6	272.82	77.04	3.54	55.68	143.29	3	10	15	10	90.9	10
7	114	75.64	1.51	53.94	138.83	5	10	18	10	38	10
8	135.46	71.51	1.89	51.38	132.24	4	9	15	9	45.2	9
9	249.14	73.15	3.41	51.4	132.52	4	10	15	10	83	10
10	271.65	56.36	3.86	42.35	109	5	5	10	5	72.5	5
11	217.82	55.92	3.9	42.11	108.37	4	5	10	5	72.6	5
12	221.45	56	3.92	42.08	108.24	4	5	11	5	73.8	5
13	229.04	134.42	2.22	101.2	280.44	8	14	24	14	90.7	14
14	280.36	133.29	2.1	98.15	262.6	6	14	24	14	93.5	14
15	288.12	136.81	2.11	101.7	261.72	6	15	25	15	96	15
16	263.1	125.71	2.09	94.88	244.18	5	13	21	13	87.7	13
17	286.64	132.16	2.17	98.67	253.93	7	15	25	15	95.5	15
18	302.24	121.52	2.49	92.32	237.6	7	13	21	13	100	13
19	264.77	199.65	2.21	90.6	233.17	6	13	21	13	88.9	13
20	267.68	117.96	2.27	89.78	231.06	8	13	21	13	80.2	13
21	265.63	130.21	2.04	98.11	252.49	5	14	22	14	85.5	14
22	262.61	133.12	1.97	99.78	256.8	8	14	23	14	87.5	14
23	257.7	132.83	1.94	99.88	275.05	6	14	23	14	85.9	14

24	247.96	130.32	1.9	97.6	251.18	4	14	23	14	82.7	14
25	244.02	131.16	1.86	100.69	259.15	4	14	23	14	81.3	14
26	242.44	126.86	1.91	95.08	244.69	4	14	22	14	80.8	14
27	230.48	112.3	2.05	84.5	217.46	6	13	21	13	76.8	13
28	220.76	93.69	2.36	72.64	186.95	9	12	18	12	73.6	12
29	129.77	91.7	1.42	70.57	181.63	8	12	18	12	43.3	12
30	91.72	63.68	1.44	58.68	151.01	5	5	12	5	30.6	5
31	63.94	62.31	1.03	57.31	147.48	5	5	10	5	21.3	5
32	363.37	361.74	1	57.03	146.77	5	5	10	5	121.1	5
33	89.45	62.21	1.44	57.21	147.23	5	5	10	5	29.8	5
34	121.1	63.55	1.91	58.55	150.68	5	5	10	5	40.4	5
35	125.61	98.23	1.28	75.09	193.26	7	12	18	12	41.9	12
36	214.25	101.86	2.1	79.52	204.65	6	12	19	12	71.4	12
37	233.98	98.74	2.37	76.79	197.63	6	12	19	12	78	12
38	227.44	93.88	2.42	72.71	187.12	6	12	19	12	75.8	12
39	211.24	93.11	2.27	71.75	184.66	4	12	19	12	70.4	12
40	169.22	86.72	1.95	66.65	171.53	4	11	17	11	56.4	11
41	172.64	85.64	2.02	65.69	169.05	4	11	17	11	57.5	11
42	168.85	84.44	2	65.11	167.57	4	11	17	11	56.3	11
43	163.66	82.25	1.99	63.64	163.77	6	11	17	11	54.6	11
44	162.2	83.32	1.95	64.53	166.06	4	11	17	11	54.1	11
45	156.9	81.56	1.92	63.38	163.11	5	11	16	11	52.3	11
46	152.64	80	1.91	62.08	159.77	6	11	16	11	50.9	11
47	153.19	79.19	1.93	61.36	157.91	5	11	16	11	51.1	11
48	150.77	76.29	1.8	58.88	151.55	3	11	16	11	50.3	11
49	168.82	77.79	2.17	60.27	155.11	4	11	16	11	56.3	11
50	161.5	76.88	2.1	59.65	153.52	9	11	16	11	53.8	11
51	157.01	72.98	2.15	55.03	141.62	7	10	15	10	52.3	10
52	154.36	67.9	2.27	50.48	129.92	6	10	14	10	51.5	10
53	137.59	63.78	2.16	47.45	122.11	6	9	13	9	45.9	9
54	151.62	64.2	2.36	47.32	121.79	5	9	13	9	50.5	9

55	143.06	62.52	2.29	46.38	119.37	5	9	13	9	47.7	9
56	150.09	61.71	2.43	44.88	115.49	5	9	13	5	50	9
57	145.16	55.25	2.63	43.16	111.08	5	8	12	8	48.4	8
58	148.49	56.34	2.64	44.1	113.51	5	7	11	8	49.5	8
59	125.7	38.13	3.3	35.13	90.42	3	3	7	3	41.9	3
60	131.78	37.3	3.53	34.3	88.27	3	3	6	3	43.9	3
61	137.48	37.04	3.71	34.04	87.6	3	3	6	3	45.8	3
62	167.12	37.03	4.51	34.03	87.59	3	3	6	3	56.7	3
63	135.98	36.84	3.69	33.84	87.09	3	3	6	3	45.3	3
64	140.7	36.63	3.84	33.63	86.55	3	3	6	3	46.9	3
65	137.2	37.23	3.69	34.23	88.08	3	3	6	3	45.7	3
<b>Total</b>	<b>12448.7</b>	<b>5780.93</b>		<b>4178.49</b>	<b>10802.01</b>		<b>629</b>	<b>1017</b>	<b>628</b>	<b>4133.8</b>	<b>632</b>
<b>Promedio</b>		<b>88.9373846</b>	<b>2.38076923</b>	<b>64.2844615</b>	<b>158.853088</b>	<b>5.04615385</b>					<b>9.29411765</b>

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

### Diseño de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeos en la compañía minera Alpayana - unidad americana

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál es el diseño de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad en el tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?</p> <p><b>Problemas específicos:</b> <b>PE1:</b> ¿Cuáles son los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?</p> <p><b>PE2:</b> ¿Cuál es la disminución de los costos en perforación y voladura en el tajeo para el incremento de la productividad de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana?</p>	<p><b>Objetivo general:</b> Diseñar de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad en el tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> <b>OE1:</b> Determinar los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura para el incremento de la productividad de tajeo de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.</p> <p><b>OE2</b> Disminuir los costos en perforación y voladura en el tajeo para el incremento de la productividad de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.</p>	<p><b>Hipótesis general:</b> Si se diseña adecuadamente la malla de perforación y voladura con taladros largos en el tajeo entonces influye en el incremento de la productividad de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.</p> <p><b>Hipótesis específicas:</b> <b>HE1:</b> Si se determinan los requerimientos del diseño para la elaboración de la malla de perforación y voladura entonces se incrementa la productividad en los tajeos de la veta M4 -M5 Compañía Minera Alpayana-Unidad Americana.</p> <p><b>HE2:</b> Si se aplicación el diseño de la malla de perforación y voladura de taladros largos entonces disminuye los costos en el minado de la veta M4 -M5 en la Compañía Minera Alpayana - Unidad Americana.</p>	<p>Variable independiente: Diseño de la malla de perforación</p> <p>Variable dependiente: Productividad</p>	<p>Variables controlables de voladura Diseño de malla para producción de tajeos Diseño de disparo primario</p> <p>Desempeño</p>	<p>Consumo de explosivos por tonelada (Kg/Ton) Producción por tajeo con diseño de mallas (Ton/día) Consumo de explosivos por tonelada (Kg/Ton) Calidad Estratégico Capacidad</p> <p>Tonelaje de rotura por corte Taladros usados por corte</p>	<p><b>Tipo:</b> Básico</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Diseño:</b> Descriptivo</p> <p><b>Nivel:</b> Correlacional - causal</p> <p><b>Población:</b> Tajeos de la compañía minera Alpayana - Unidad Americana</p> <p><b>Muestra:</b> Tajeo 370 Veta M4-M5 galería 295 NE Nivel 21 de en la compañía minera Alpayana - Unidad Americana Técnica: Análisis descriptivo</p>

### Anexo N° 3: Presentación de fotos en la Compañía Minera ALPAYANA

