



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**MINIMIZACIÓN DE SOBROTURA DE CAJAS MEDIANTE  
DISEÑO DE VOLADURA CONTROLADA EN EL TAJEO DE  
VETA VICTORIA, MINA SAN RAFAEL MINSUR S.A. - PUNO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JAIME MANUEL TURPO CCOTALUQUE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

A mis padres, Manuel Turpo y Terencia Ccotaluque por darme la vida y apoyarme en todo lo que me he propuesto, sin importarles las circunstancias y el tiempo, quienes con sus consejos y orientación hicieron posible mi formación profesional.



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por haber derramado muchas bendiciones en mi vida personal y profesional y guiarme por el buen camino.

A la Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A. Área de Mina y al equipo de supervisión Ing. Salvador Tuncar Alva., Ing. Fredy Oblitas Peña quienes agradezco profundamente.

Agradezco a mis docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, que compartieron sus conocimientos para convertirme en un profesional, por su tiempo y dedicación.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	11
ABSTRACT.....	12

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1 Pregunta general.....	14
1.2.2 Pregunta específicos.....	14
1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	14
1.3.1 Hipótesis general.....	14
1.3.2 Hipótesis específicas .....	14
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.4.1 Objetivo general .....	15
1.4.2 Objetivo específicos .....	15
1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN.....	15

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
2.2 MARCO TEÓRICO.....	18
2.2.1 Operaciones mina.....	18
2.2.2 Método de explotación.....	18



2.2.3 Descripción de las fases en la operación minera.....	20
2.2.4 Perforación .....	21
2.2.5 Diseño de voladura.....	23
2.2.6 Parámetros de la roca .....	25
2.2.7 Explosivos de voladura .....	26
2.2.8 Voladura controlada .....	29
2.2.9 Geología Regional.....	33
2.2.10 Geología local .....	35
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	42

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1 DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
3.1.1 Tipo de investigación .....	45
3.1.2 Diseño de investigación .....	45
3.2 POBLACIÓN.....	46
3.3 MUESTRA.....	46
3.4 TIPO DE MUESTREO .....	46
3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	47
3.5.1 Variable independiente .....	47
3.5.2 Variable dependiente.....	47
3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	47
3.6.1 Técnicas .....	47
3.6.2 Instrumentos de recolección de datos .....	49
3.7 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	50
3.8 UBICACIÓN .....	52
3.9 CLIMA.....	52
3.10 FLORA Y FAUNA.....	53

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	54
----------------------------------	----



4.1.1 Datos y resultados .....	54
4.1.2 Cálculo del factor de potencia.....	54
4.1.3 Cálculo del factor de potencia en el tajeo utilizando Examon P.....	54
4.1.4 Cálculo del factor de potencia en el tajeo utilizando Exagel-E 65 .....	55
4.1.5 Resultado de la sobrerotura en la voladura .....	57
4.1.6 Cálculo de la sobrerotura .....	58
4.1.7 Cálculo de sobrerotura en el tajeo utilizando Examon P .....	58
4.1.8 Cálculo de sobrerotura en el tajeo utilizando Exagel-E 65 y tubos de PVC....	61
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES .....	66
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

**Área** : Ingeniería de Minas

**Tema** : Desarrollo de labores mineras

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 19 – 07 – 2021



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características de los explosivos .....	33
Tabla 2	Tajeos de la unidad minera San Rafael.....	46
Tabla 3	Factor de potencia de secciones de la veta Victoria .....	48
Tabla 4	Fragmentación P80 de secciones de veta Victoria .....	49
Tabla 5	El acceso a la unidad minera San Rafael .....	52
Tabla 6	Factor de potencia con Examon P .....	56
Tabla 7	Factor de potencia con Exagel-E 65 .....	56
Tabla 8	Diferencia de factor de potencia con Examon P y Exagel-E 65.....	57
Tabla 9	Porcentaje de sobrerotura de panel 5 de la veta Victoria.....	60
Tabla 10	Porcentaje de sobrerotura en el panel 1 de la veta Victoria.....	63
Tabla 11	Porcentaje de sobrerotura del panel 2 de la veta Victoria .....	64
Tabla 12	Porcentaje de sobrerotura del panel 3 de la veta Victoria .....	65
Tabla 13	Minimización de la sobrerotura .....	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Método de explotación .....	19
Figura 2: Perforación de taladros.....	22
Figura 3: Diseño de carguío de Examon P .....	24
Figura 4: Diferencia entre Examon P y Exagel-E 65.....	33
Figura 5: Sección geológica transversal (N70°E).....	38
Figura 6: Las cuatro etapas de mineralización de la veta San Rafael.....	41
Figura 7: Análisis de factor de potencia por panel .....	51
Figura 8: Análisis de fragmentación de P80 por panel.....	51
Figura 9: Factor de potencia de voladura con Examon P vs Exagel-E 65.....	57
Figura 10: Diseño de carguío con Examon P .....	59
Figura 11: Diseño del espaciado de tubo de PVC .....	61
Figura 12: Diseño de carguío con Exagel-E 65 y espaciador PVC .....	62
Figura 13: Diferencia de % de sobrerotura con Examon P vs Exagel-E 65 espaciado ..	66





## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Plano de ubicación de la unidad minera San Rafael .....	73
Anexo 2: Mapa geológico de la mina San Rafael MINSUR S.A. ....	74
Anexo 3: Vista panorámica de la mina San Rafael MINSUR S.A. ....	75
Anexo 4: Resultados de minimización de la sobrerotura de las cajas veta Victoria .....	75



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

LBH	: Large Blast Hole
VCR	: Vertical Crater Retreat
VOD	: Velocidad de onda de detonación
UTM	: Universal Transversal Mercator.
PVC.	: Policloruro de vinilo.
S.A.	: Sociedad anónima
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
NW	: Nor Oeste
NE	: Nor Este
SW	: Sur Oeste



## RESUMEN

La Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A., se encuentra ubicada en la Cordillera Oriental de los Andes dentro de la jurisdicción del distrito de Antauta, provincia de Melgar y departamento de Puno, está explotando el mineral estaño, con el método de Taladros Largos (Sublevel Stopping). Mediante la evaluación realizada en los tajeos de producción se encontró problemas de sobrerotura de caja techo y piso después de la voladura de producción, debido a una mayor potencia de detonación dentro de los taladros de alta concentración de energía que produce la fragmentación, ocasionando como resultado la sobrerotura en las cajas y mayor dilución afectando los costos operativos. El objetivo del estudio de investigación es minimizar las sobrerotura de cajas mediante la voladura controlada en el tajeo de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno. La metodología para realizar el estudio de investigación ha consistido en su primera etapa en la recopilación de información y observación de la voladura anterior en los tajeos con el explosivo Examon P, el mismo que se ha registrado en una base de datos y posteriormente en el estudio de investigación se ha diseñado la voladura controlada con carga explosiva de Exagel-E 65 y desacopladas con tubos de PVC. Finalmente se ha llegado a los siguientes resultados y conclusiones, las sobrerotura de cajas se ha minimizado de 24,36 % a 9,48% con una diferencia de 14,88 %, el factor de potencia se ha reducido de 1,64 kg/t, a 0,66 kg/t, con una diferencia de 0,98 kg/t, con dichos resultados se ha logrado una dilución menor en el tajeo de explotación de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

**Palabras claves:** Minimizar, voladura, controlada, diseño, explosivos, estabilidad.



## ABSTRACT

The San Rafael Mining Unit - MINSUR S.A. is located in the Eastern Cordillera of the Andes within the jurisdiction of the district of Antauta, province of Melgar and department of Puno, is exploiting the tin ore, with the Long Holes method (Sublevel Stopping). Through the evaluation in the production pits, problems of overbreak of the roof and floor box were found after the production blasting, due to a greater detonation power within the holes and the high concentration of energy that produces fragmentation and displacement. Causing as a result of breakage in the structures boxes, greater dilution affecting operating costs, the objective of which is to apply controlled blasting and thus minimize the overbreak of the roof and floor boxes through a controlled blast loading Scheme design in the chopping of the Victoria vein at the San Rafael MINSUR S.A. mining unit - Puno. The methodology to carry out the study has consisted in its first stage in the collection of information and observation of the blasting of the pit with the explosive Examon p, in order to register in a database and later carry out the controlled blasting with explosive charge Exagel-E 65 and decoupled with PVC pipes. Overbreak of the roof and floor box has been minimized from 24.36% to 9.48% with a difference of 14.89%, the power factor has been reduced from 1.64 Kg / t, to 0, 66 Kg / t, with a difference of 0.98 Kg / t, therefore, there will be a lower dilution in the exploitation pit of the Victoria vein in the San Rafael MINSUR S.A. mining unit – Puno.

**Keywords:** Minimize, controlled, blasting, design, explosives, stability



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la unidad minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno, viene explotando el yacimiento de estaño mediante el método de explotación de Taladros Largos y actualmente viene explotando el tajeo 4 224 - 1 224 de un ancho de minado de 1,20 m y mediante la evaluación realizada en dichos tajeo de producción se encontró problemas de sobrerotura de cajas después de la voladura de producción, generando mayor dilución de mineral, afectando así a la producción y contaminando la veta de mineral con desmonte ocasionando elevados costos de producción, de igual manera afecta a la granulometría de la fragmentación de la roca generando mayores costos de planta y por último afecta a la estabilidad de la caja techo debido al descaje de la roca.

En el presente estudio de investigación se ha planteado como alternativa la minimización de las sobrerotura de cajas mediante la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno.

El estudio de investigación se ha realizado para identificar los principales factores que influyen en la perforación y voladura para minimizar las sobrerotura de las cajas piso y techo de la veta Victoria; provocando inestabilidad del porcentaje de dilución, principalmente en el método de Taladros Largos, siendo en esta etapa de voladura uno de los problemas que se afronta en las cajas y dilución con el mineral fragmentado, por lo cual se propone implementar un nuevo diseño de voladura controlada implementando un diagrama de carguío en los



taladros con tubos de PVC. y el uso de emulsiones Exagel-E 65 en la voladura del tajeo de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Pregunta general**

¿Cómo se minimiza la sobrerotura de cajas en el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.-Puno?

### **1.2.2 Pregunta específicos**

- a) ¿Cómo se recopila la información de la voladura en el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno?
- b) ¿Cómo se minimiza la sobrerotura de cajas mediante el diseño de carguío del explosivo para la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno?

## **1.3 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.3.1 Hipótesis general**

Mediante el diseño de voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria, se minimizará la sobrerotura de cajas en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

### **1.3.2 Hipótesis específicas**

- a) Mediante la información recopilada, se analizará la voladura en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno.



- b) Mediante el diseño de carguío del explosivo para la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria, se minimizará la sobrerotura de cajas en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Minimizar la sobrerotura de cajas en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

### **1.4.2 Objetivo específicos**

- a) Recopilar la información de la voladura en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno
- b) Minimizar la sobrerotura de cajas mediante el diseño de carguío del explosivo para la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno.

## **1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN**

La unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno, mediante la cubicación de reservas de mineral en el tajeo 4 224 - 1 224 del nivel de 4 239 al 4 224 en los paneles 1, 2 y 3, con un ancho de minado de 1,20 m, tiene un potencial de 2 222,02 toneladas de mineral con una ley promedio de 1,71 % de estaño.

Con el presente estudio de investigación se ha minimizado la sobrerotura, mediante la voladura controlada con el diseño del esquema de carguío del explosivo Exagel-E 65 y los espaciadores de PVC, en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno.



La sobre rotura de las cajas de la veta Victoria aumenta la dilución del mineral y es una de las principales causas que afecta la producción, contaminando la veta de mineral con desmonte, afectando los costos de producción, costos de planta y por último afecta la estabilidad de la estructura. Por lo que con el presente estudio de investigación se ha minimizado la sobrerotura de las cajas techo y piso de la veta Victoria, aplicando estándares e implementando diseño en el esquema de carguío en las operaciones unitarias de voladura y un cambio de explosivos de Examon P a una voladura controlada con Exagel-E 65, desacoplando la carga de explosivo, teniendo en cuenta, los parámetros de roca, características de explosivos y espaciadores conformadas por tubos PVC en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.- Puno.





## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Chávez, A. (2018), afirma aumentar de 95,20% al 98,15% el control de la voladura y nos dice, que, conociendo las características de perforación y voladura, de igual manera dejando taladros vacíos en la corona de avance de la labor, podemos tener un control de la sobrerotura de la labor en el nivel 660 obteniendo un 5,43% de sobre excavación en la sección de la labor 2,4m x 2,7m, en la Unidad Minera Acchilla.

Castro, M. y Rodríguez, C. (2016), nos indica que para minimizar la sobre rotura en la corona de las diferentes labores mineras del Consorcio Minero Horizonte, es usando explosivos de Exsablock de 7/8" x 7", espaciados a un máximo de 16" entre cartuchos dentro de la mitad de diámetro del tubo de PVC, iniciando primero la secuencia de salida del disparo de la voladura, minimizando la sobre rotura en un 17,44% y también optimizando los costos del disparo.

De Ybarra, M. (2013), afirma que teniendo los datos indicadores de perforación se propone cambiar la malla de perforación y en voladura se tomó datos de la granulometría llegando así mejorar la salida de secuencia de voladura, usando el cordón detonante logrando así un 5% de sobre excavación en la Galería 215 del nivel 3 260.

Huanachea, V. (2007), afirma que con características de los explosivos y el estudio geo mecánico del macizo rocoso contribuyen a una nueva delineación



de la malla de perforación y voladura reduciendo así la sobre rotura en las labores subterráneas como el By Pass 976-E.

Carrillo, L. (2003), nos indica que en voladuras controladas se utilizan varios esquemas de diseño para reducir la sobre rotura de la roca, debiéndose hacer las pruebas correspondientes en cada caso, para ello se debe procurar una buena distribución de explosivos conociendo las características de explosivos, de igual manera las características de roca lo cual es fundamental, esto ayudará a tener una mejor granulometría.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Operaciones mina**

La unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno, desarrolla la explotación mecanizada, con equipos de alta tecnología, las operaciones realizan mediante una rampa principal de 9 km de longitud y una profundidad máxima de 1,3 km en la vertical, la concentración de recursos y reservas se ubica por debajo de la zona de estaño, ubicada debajo del nivel 4 523, en donde se produce el mineral de estaño (Mina San Rafael, 2018).

### **2.2.2 Método de explotación**

El método de explotación utilizado es el de Taladros Largos. “Sub Level Stoping” transversal y “Sub Level Stoping” longitudinal. En el caso de la mina San Rafael la distribución de las dimensiones de los bloques es de 50 metros en la vertical con longitudes de 70 a 100 m. Se utiliza principalmente en vetas y cuerpos de mediana a alta potencia. (Mina San Rafael, 2018)

Es necesario en los extremos de cada tajo la preparación de una chimenea (VCR) para obtener la cara libre de voladura. Para ello la perforación puede ser positiva (de un nivel inferior hacia uno superior) o negativa (de un nivel superior hacia uno inferior), habiendo tenido el mineral derribado en los puntos de extracción a si extraer el mineral hacia las canchas respectivas.

En algunos blocks es necesario preparar rampas auxiliares de acceso para diversificar la secuencia de perforación y voladura y obtener la ley necesaria de estaño. Las características de la roca encajonante (intrusivo, pórfido, monzograníticos) es muy competente y de dureza media. La profundización del yacimiento es con mineralización continua, cuyo acceso es a través de una rampa principal de 5 m x 4 m de sección y gradiente negativa de 10%.

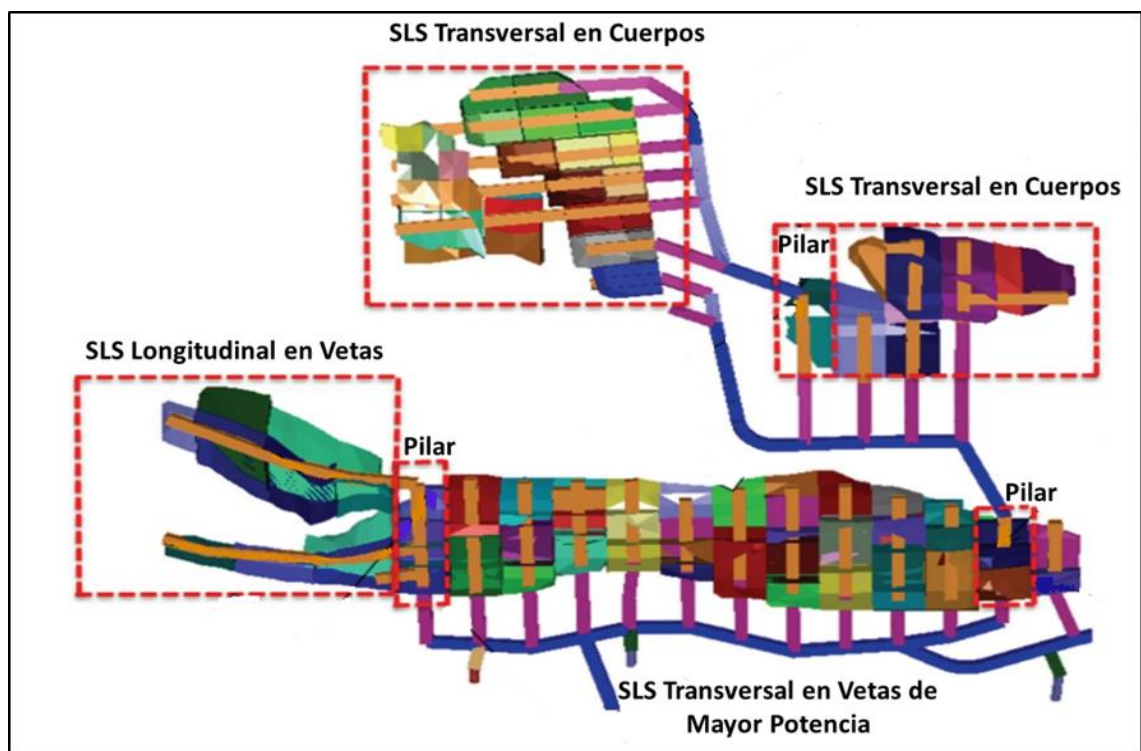


Figura 1: Método de explotación

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

La selección de métodos masivos nos enfrenta al reto de la planificación y para ello se deben tener en cuenta los siguientes criterios:



- Geometría del yacimiento
- Distribución del mineral y sus leyes
- Propiedades geotécnicas del mineral y de la roca
- Aspectos económicos
- Limitaciones ambientales
- Consideraciones sociales

### **2.2.3 Descripción de las fases en la operación minera**

#### **a) Exploración**

Se realizan labores horizontales con el objetivo de llegar a vetas o cuerpos para su posterior desarrollo. Posicionando así las cámaras diamantinas para la ejecución, desde donde se proyectarán taladros de reconocimiento que confirmarán o descartarán la presencia de vetas y cuerpos en las proyecciones dadas.

#### **b) Desarrollo**

En esta etapa, se realizan los accesos a ventilación, echaderos, etc. normalmente su ejecución se realiza en desmonte.

#### **c) Preparación**

En esta etapa se desarrollan labores horizontales o verticales, que conforman subniveles y chimeneas, siguiendo la estructura de la veta o cuerpo que permiten y pueden ser paralelos a los desarrollos.

#### **d) Explotación**

Es la etapa final en que se extrae en forma sistemática el recurso mineral preparado y cubicado en las zonas de trabajo llamadas “tajeos”.



#### 2.2.4 Perforación

Se realiza con los equipos de perforación que van montados sobre una estructura, con las que el operador consigue controlar todos los parámetros de perforación desde unas posiciones cómodas. Estas estructuras o chasis pueden ir montadas sobre neumáticos u orugas y ser automotrices o remolcadas (López. 1994).

La perforación del block mineralizado empieza desde un nivel central hacia un nivel inferior y superior, la perforación es de acuerdo a una malla diseñada por ingeniería.

La malla de perforación varía de acuerdo a la potencia de la mineralización y del equipo de taladros largos, el rango del burden es para cuerpos (1,0 - 2,5 metros) y para vetas es (0,60 -1,3) metros.

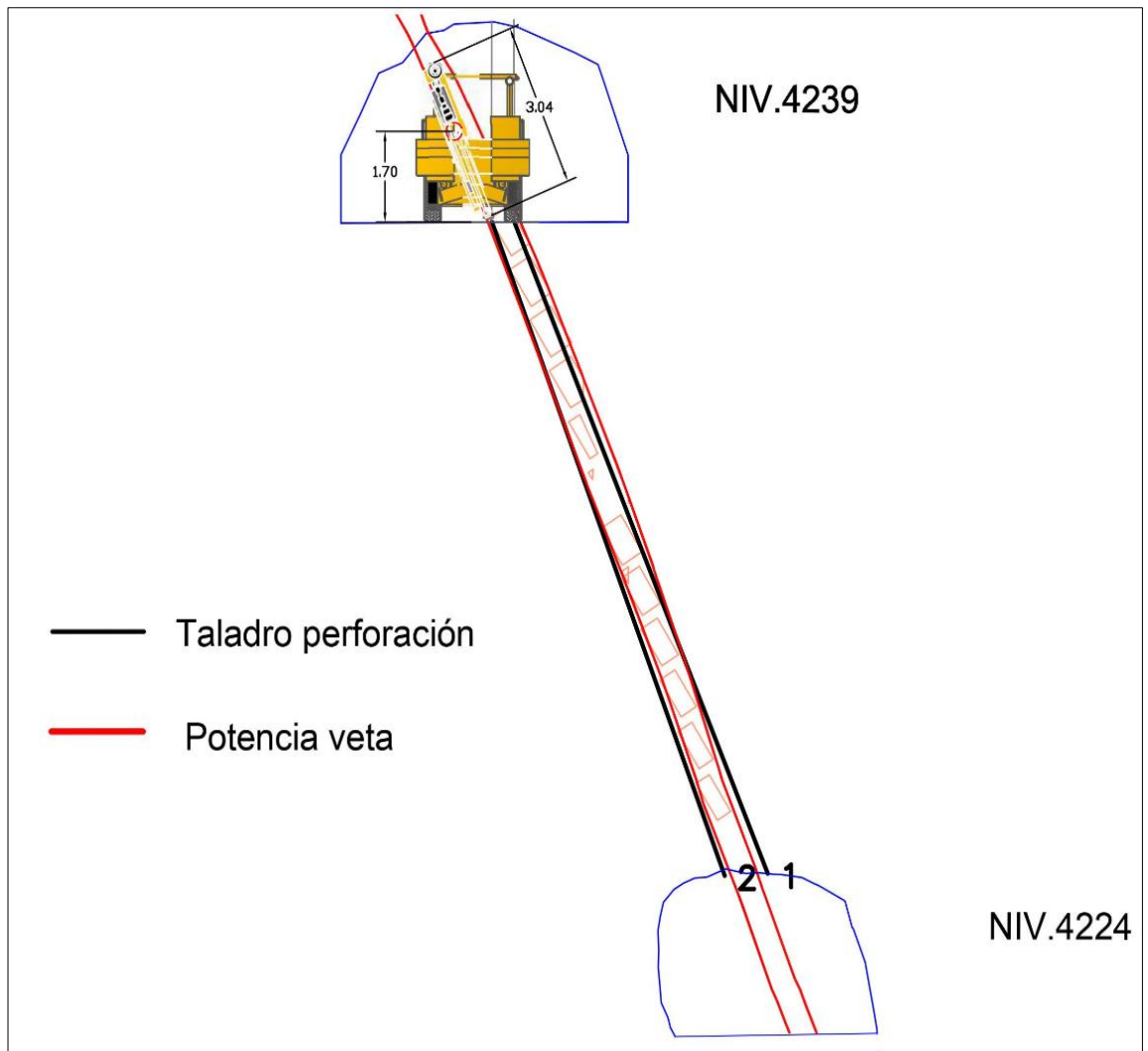


Figura 2: Perforación de taladros

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

Los equipos de perforación de taladros largos en la unidad minera San Rafael consta de 07 unidades, la cual está compuesta por:

- 03 equipos Simba S7D.
- 02 equipos Boomer T1D.
- 01 equipo Jumbo H-157.
- 01 equipo Raptor.



Al culminar la perforación se realiza un levantamiento topográfico para medir la desviación de taladros, con la finalidad de asegurar la salida de los taladros hacia la cara libre y que no genere mayor sobre rotura en las cajas techo y piso de la estructura mineralizada o tenga mayor dilución debido a la desviación, cuando los taladros estén correctos se procede a tapar los taladros para evitar que se entierren y no se pierda tiempo en el momento de carguío con explosivos a los taladros.

### **2.2.5 Diseño de voladura**

El diseño de voladuras debe abarcar los conceptos fundamentales de un diseño de voladura ideal, los cuales son modificados cuando es necesario para compensar las condiciones geológicas específicas del lugar. Para poder evaluar un plan de voladura, debe de tomarse por partes y cada variable o dimensión debe ser evaluada. Un plan de voladura se debe diseñar y revisar paso por paso. (Konya & Albarrán, 1998)

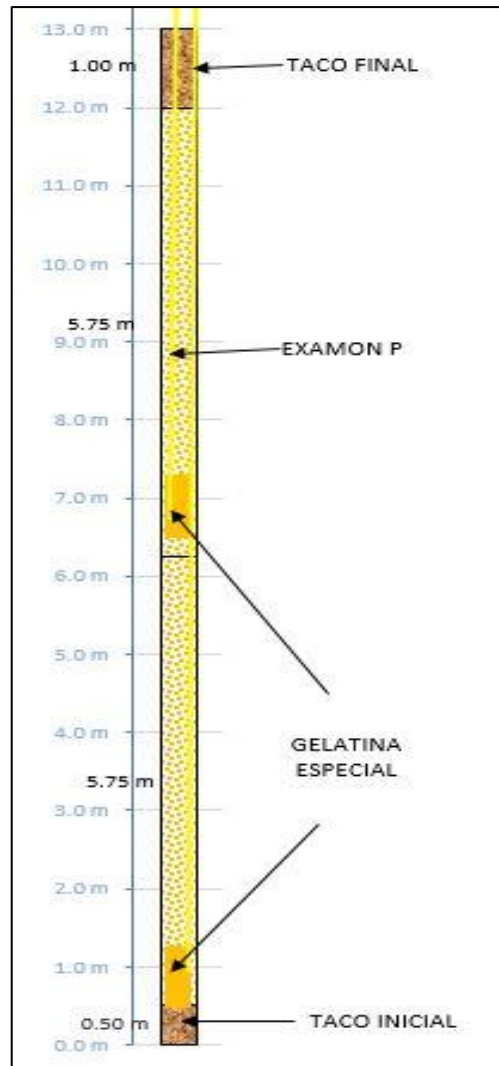


Figura 3: Diseño de carguío de Examon P

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. Son controlables, por ejemplo, las variables de diseño de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca. Para facilidad de interpretación se resume a estos factores afines en grupos, que suelen denominarse variables, factores, parámetros o condiciones. (EXSA, 2001).





### 2.2.6 Parámetros de la roca

Son determinantes, debiendo los explosivos y sus métodos de aplicación adecuarse a las condiciones de la roca (EXSA, 2001). Entre ellos tenemos:

#### A. Propiedades físicas

- a) Dureza: Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- b) Tenacidad: Indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil).
- c) Densidad: Indica la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm<sup>3</sup> en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.
- d) Textura: Trama o forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
- e) Porosidad: Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
- f) Variabilidad: Las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.
- g) Grado de alteración: Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.



## **B. Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas**

- a) Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido.  
Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
- b) Resistencia mecánica. Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
- c) Fricción interna. Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
- d) Módulo de Young. Resistencia elástica a la deformación.
- e) Radio de Poisson. Radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.
- f) Impedancia. Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

### **2.2.7 Explosivos de voladura**

El objetivo esencial de la utilización de un explosivo en el arranque de rocas consiste en disponer de una energía concentrada químicamente, situada en el lugar apropiado y en cantidad suficiente, de forma que liberada de un modo controlado, en tiempo y espacio, pueda lograr la fragmentación del material rocoso. (López, 1994).

El oxígeno que interviene en la reacción química de un explosivo es tomado de su propia composición química, debido a que por la rapidez y violencia de la misma no da tiempo a tomarlo del ambiente. La suficiencia de las moléculas de oxígeno en la mezcla, determina la toxicidad de los gases generados por la reacción. De allí, que los fabricantes de explosivos hayan desarrollado fórmulas



químicas con sustancias portadoras de oxígeno tales como el nitrato de amonio, con el fin de garantizar la oxidación completa de las moléculas de carbono, hidrógeno y nitrógeno. (Cámac, 2005).

**a) Explosivos rápidos y detonantes.**

Los explosivos detonantes se dividen en primarios y secundarios según su aplicación; los primarios por su alta energía y sensibilidad se emplean como iniciadores para detonar a los secundarios; estos son los que efectúan en arranque y rotura de las rocas y aunque son menos sensibles que los primarios desarrollan mayor trabajo útil. Estos explosivos tienen velocidades entre 2 000 y 7 000 m/s.

**b) Velocidad de detonación.**

Es conocida como la rapidez a la cual viaja la onda de detonación a través de una columna de explosivos, siendo esta igual o mayor que la velocidad sónica del material y constituye una de las variables más importantes para el cálculo de la presión de detonación de un explosivo. Muchos factores afectan la velocidad de detonación, dentro de los más importantes citaremos al tipo de producto, diámetro, confinamiento, temperatura y cebado.

**c) Presión de detonación.**

La presión de detonación está en función directa de la densidad del explosivo y la velocidad de detonación. Se calcula multiplicando la densidad del explosivo por la velocidad de detonación al cuadrado y es una forma de energía cinética. Podemos poner este ejemplo (Konya & Albarrán, 1998).

$$P = \frac{4.5 \times 10^{-6} * V_e^2 * d}{1 + 0.8 * d}$$



Donde:

$P$  = Presión de detonación (kbar)

$d$  = Densidad del explosivo ( $\text{g/cm}^3$ )

$V_e$  = Velocidad de detonación (m/s)

#### **d) Condiciones de la carga.**

La carga explosiva puede ser de un solo tipo en todo el taladro (carga única) o tener primero explosivo más denso y potente (carga de fondo) y luego explosivo menos denso (carga de columna). También pueden ser varias cargas de igual o distinto tipo separadas entre sí por material inerte (cargas espaciadas). (EXSA, 2001).

El desacoplamiento tiene enorme efecto sobre el grado de confinamiento y sobre el trabajo del explosivo, ya que la presión de taladro decrecerá con el aumento del desacoplamiento. Esta condición puede incluso ocasionar que los gases liberados por la explosión se aceleren más rápidamente que la onda de detonación en la columna de carga, acumulándola al descomponer al explosivo por el fenómeno denominado “efecto canal” o presión de muerte.

El desacoplamiento es recomendable sólo para la voladura controlada o amortiguada, donde forma un colchón de aire que amortigua el impacto, con lo que disminuye la fragmentación.



### 2.2.8 Voladura controlada

A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada deben espaciarse de tal modo, que las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor resistencia, es decir de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales. (EXSA, 2001)

Son varias las técnicas para voladura controlada desarrolladas en los últimos años, muchas veces específicamente para un problema particular, pero las más aplicadas son:

- Voladuras de precorte
- Voladura de recorte
- Voladuras amortiguadas

Estas técnicas se efectúan tanto para trabajos subterráneos como en superficie

#### a) Voladura de pre corte.

Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de disparar la voladura principal o de producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantánea.

#### b) Voladura de recorte.

Consiste en la voladura de una fila de taladros cercanos, con cargas desacopladas, pero después de la voladura “principal” o de producción. El factor de carga se determina de igual forma que para los taladros de pre corte, pero como esta técnica



implica el arranque de roca hacia un frente libre, el espaciamiento normalmente es mayor que en el pre corte.

**c) Voladura amortiguada.**

Es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, tanto en su esquema geométrico que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa. En la que una fila de taladros de pequeño diámetro, estrechamente espaciados y sin carga explosiva crea un plano de debilidad que producirá el corte como efecto de la voladura principal. El plano actuará como una cortina que limita el paso de las ondas explosivas hacia atrás.

**d) PVC.**

El cloruro de polivinilo (PVC o vinilo) es un material económico y versátil, utilizado para la voladura controlada como espaciador en la que se obtiene buenos resultados en su productividad.

**e) Cordón detonante.**

Es un accesorio de voladura, que posee características como: Alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y seguridad. Está formado por un núcleo de pentrita (PETN), el cual está recubierto con fibras sintéticas y forrado con un material plástico. En el caso de los cordones reforzados, se utiliza adicionalmente hilos y resinas parafinadas para dotar al producto de una mayor resistencia a la abrasión y tracción. En minería subterránea: En voladuras de “recorte”, “pre corte” y “voladura amortiguada”, obteniéndose superficies uniformes en los contornos finales de los túneles y cámaras subterráneas.



**f) Exagel-E 65.**

Emulsión explosiva de alto poder rompedor ideal para taladros negativos y piques en rocas duras a muy duras, que reduce los costos del proceso de chancado al proporcionar un alto nivel de energía por unidad de volumen. Cuenta con una gran capacidad de confinamiento y acoplamiento en frentes horizontales gracias a su consistencia viscosa, además de tener excelente resistencia al agua. (EXSA, 2009).

Recomendaciones de uso:

- Para uso en túneles y minería subterránea (galerías, desarrollos, rampas, profundización de piques y tajos de producción).
- Recomendable para taladros con agua, incluso totalmente inundados y presencia de agua dinámica.
- No abrir o amasar los cartuchos.
- Para consideraciones de seguridad en su manipulación y almacenamiento, consultar hoja de seguridad

**g) Examon P**

Agente de voladura granulado para uso en voladuras superficiales y en subterráneas con buena ventilación. Permite ser empleado como carga de columna en terreno intermedio a duro.

Preparado especialmente con una mezcla balanceada en oxígeno de nitrato de amonio y petróleo, para ser usado en minería subterránea (tajeos y desarrollos) y en superficie (carreteras, túneles, excavación de canales y obras civiles en general). Está compuesto por una mezcla de nitrato de amonio y petróleo



debidamente balanceada en oxígeno, además de contener aditivos antiestáticos que permiten el carguío neumático.

Recomendaciones de uso:

- Recomendado para usar en barrenos secos y que
- permanecerán secos hasta la detonación.
- Preferente usarlo en lugares de mayor ventilación.
- Puede ser usado como carga de columna en tajo abierto,
- subterránea, canteras y para trabajos de voladura en general.
- No es adecuado para entornos reactivos.

#### **h) Gelatina especial 75**

Dinamita elaborada para reducir los costos en procesos de limpieza, acarreo y chancado de material en voladuras de roca dura a muy dura. Su alta velocidad de detonación proporciona una excelente fragmentación de la roca, evitando así voladuras secundarias o reiterados procesos de chancado.

Recomendaciones de uso:

- Aplicable para voladura de roca dura a muy dura.
- Recomendable en taladros de arranque en frentes difíciles y taladros de arrastre.
- Puede usarse como cebo para iniciación de agentes de voladura tipo ANFO.
- Para iniciar, utilizar detonador N°8 como mínimo.



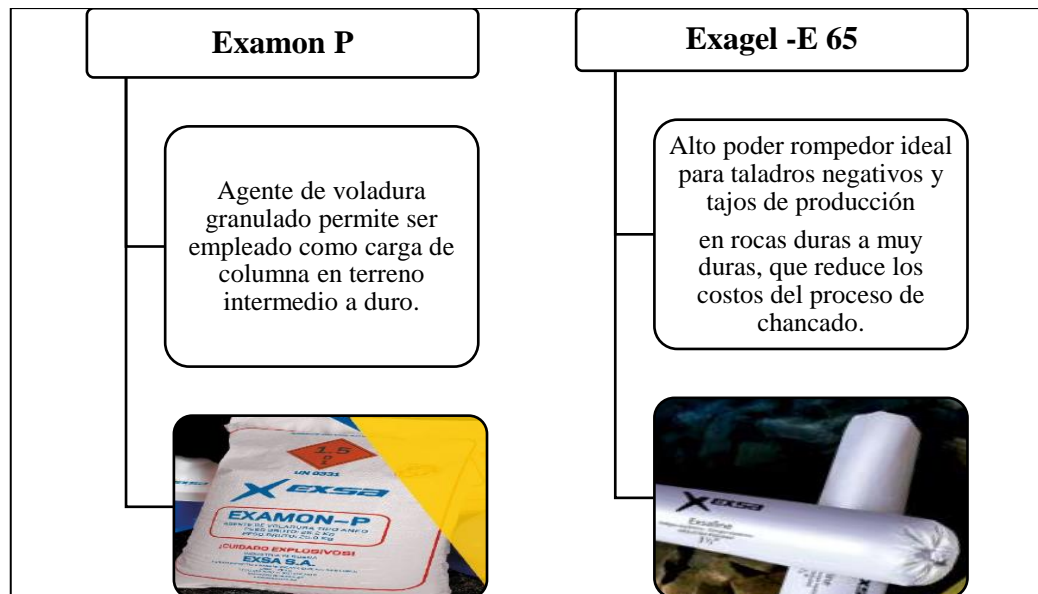


Figura 4: Diferencia entre Examon P y Exagel-E 65

Fuente: EXSA-2 009

Tabla 1  
Características de los explosivos

Características	Examon P	Exagel-E 65	Gelatina especial 75
Densidad	0,82g/cm <sup>3</sup>	1,12% g/cm <sup>3</sup>	1,38g/cm <sup>3</sup>
Velocidad de detonación	3 200 m/s	5 300 m/s	5 500 m/s
Presión de detonación	21 kbar.	85 kbar	157 kbar
Energía	3 899 kj/kg	4 100 kj/kg	3 520 kj/kg
RWS **	04 %	111%	95%
RBS**	106%	151%	160%
Resistencia al agua	Nula	Excelente	Excelente

Fuente: EXSA – 2 009

### 2.2.9 Geología Regional

En la zona se encuentran principalmente rocas del Paleozoico Inferior y Superior, las mismas que están distribuidas en un área extensa (Cordillera Oriental), estas rocas han sufrido intrusiones ígneas de dimensiones batolíticas, stock, domos, etc., fluctuando la edad de las intrusiones del periodo Jurásico al



Terciario Superior. La geología regional ha sido estudiada por, (Laubacher, 1978) y (Kontak, 1984).

En la región abunda una gruesa secuencia marina del Paleozoico Inferior como las lutitas de la formación San José de edad Ordoviciana media, las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandia de edad Ordoviciana superior y las lutitas intercaladas con cuarcitas del grupo Ananea del Devónico-Silúrico, las que han sufrido los efectos de la tectónica compresiva Herciniana temprana.

Rocas del Paleozoico superior han sufrido los efectos de la tectónica Herciniana final representada por areniscas y lutitas del grupo Ambo de edad Misisipiana, lutitas y caliza del grupo Tarma de edad Pensilvaniana y calizas del grupo Copacabana de edad Pérmica Inferior.

El tectonismo anterior fue seguido por un levantamiento continental, que dio origen a los sedimentos continentales y vulcanismo del grupo Mitu de edad pérmica media a superior sobre los cuales se depositaron secuencias calcáreas, arenosas y lutitas del Mesozoico.

Las rocas Paleozoicas de la Cordillera de Carabaya fueron por rocas peraluminosas de los plutones Lima pampa, Limbani, Aricoma y Coasa, agrupados en el batolito de Coasa de edad triásica. Hacia el noroeste se encuentra un plutón de sienita nefelínica peraluminoso y volcánicos per alcalinos ambos del Jurásico, así mismo, el complejo San Gabán (Kontak, 1991).

En la depresión de Crucero y en las estribaciones de la cordillera o pre cordillera de Carabaya existen rocas ígneas intrusivas del Terciario. Las rocas intrusivas comprenden lavas y piro clásticos, basaltos, shoshonitas, riodacitas y riolitas del tipo S, además, intrusivos hipabisales peraluminosos, del Oligoceno



superior-Mioceno inferior. Otro tipo de rocas comprende a piro clásticos e hipabisales riolíticos fuertemente peraluminosos con biotita, sillimanita, moscovita, andalucita, turmalina; fueron emplazados del Mioceno inferior a superior.

Los intrusivos triásicos y terciarios forman parte del dominio magmático del arco interior de la Cordillera Oriental, la que ha tenido una evolución diferente al dominio magmático del arco principal de la Cordillera Occidental (Clark, 1984).

### **2.2.10 Geología local**

Las rocas de la formación Sandia (filitas y cuarcitas) han por dos stocks graníticos de edad Terciario superior. El intrusivo es un monzogranito peraluminoso con fenocristales de feldespatos alcalinos ahueradles de hasta 12 cm. de longitud y con maclas de Carlsbad, biotita, cordierita y micro fenocristales de sillimanita.

La edad del intrusivo de San Rafael es de  $25,0 \pm 0,3$  millones de años por el método K-Ar, mientras que el de Quenamari es de  $27,1 \pm 0,10$ , ambos del Oligoceno superior a Mioceno inferior (Arenas, 1980; Palma, 1981; Kontak 1984; Clark, 1983,1990).

El eje mayor del intrusivo de San Rafael tiene un rumbo NE-SW, una longitud de 1000 m y anchos de 300 m a 800 m. El afloramiento de este intrusivo es discontinuo, porque está cubierto parcialmente por las cuarcitas de la formación Sandia. En los alrededores de la Mina San Rafael encontramos rocas del Paleozoico superior e inferior.



## 1. Estratigrafía

- a) **Formación Sandia.**-Con una edad del Ordovícico superior, formada en su mayoría por pizarras que se encuentran altamente plegadas, fracturas y zonas alteradas por la presencia de 2 cuerpos monzograníticos que instruyen a esta formación.

Un fósil encontrado por Palma (1981) en rocas pizarrosas fue identificado como “Michelinoceros Nautilus” del Ordovícico superior, lo que permitió definir la edad de estas rocas en la zona mineralizada como pertenecientes a la formación Sandia.

Las filitas son las rocas predominantes, son de color gris oscuro con moscovita en los planos de foliación. Estas rocas en contacto con el intrusivo, han sufrido un metamorfismo de contacto a Hornfels, que son masivos y de color gris oscuro-marrón. Las cuarcitas están intercaladas con las filitas; se encuentra principalmente en el paso de Umbral y en los alrededores del campamento de San Rafael, en la laguna Chogñacota. La secuencia estratigráfica es como sigue:

- b) **Pizarra Sandia.**-Presenta la parte basal de la secuencia de la zona de San Rafael, tiene un rumbo promedio SE-NW y buza 40° hacia el NE aproximadamente. Se observa un intenso metamorfismo caracterizado por antiguos plegamientos, presión confinante y un reciente periodo geológico por intrusión ígnea de tipo ácido. Se consideran pertenecientes al Ordovícico serie Hualla -Hualla.
- c) **Cuarcita Sandia.**-Roca metamórfica expuesta en menor escala que la anterior, afloran hacia el lado W del nevado Quenamari, en la parte sur de la laguna Chogñacota, y lo hace sobre las pizarras en forma de pequeños afloramientos. Proviene posiblemente de areniscas cuarzosas, son duras y de grano fino, color



blanquecino con tonos grises a gris verdoso en fractura fresca y anaranjado a pardo en superficie intemperada.

Se distingue un diaclasa miento irregular, debido a las fuerzas dinámicas. Las grandes fracturas y fallas que han sido mineralizadas posteriormente, parecen continuar de la pizarra a las cuarcitas al sufrir mucha variación en cuanto a su rumbo (NW) y buzamiento (NE), observado en la parte alta del nevado.

- d) Hornfels Sandia.**-Son las pizarras que sufrieron metamorfosis en el contacto con el intrusivo, son de color gris oscuro a marrón con un lustre aterciopelado debido a la abundancia de pequeños cristales brillantes de mica negra; estos Hornfels han sido endurecidos por el calor de masas ígneas y se han rendido masivas, duras y en algunos casos excesivamente resistente y durable.

## 2. Intrusivos

Formado por un cuerpo monzograníticos del Oligoceno superior-Mioceno a la formación Sandia ocasionándole grandes sistemas de fracturas a la formación Sandia. La erosión ha dejado al descubierto dos stocks en el nevado Quenamari: uno en el nevado San Bartolomé de la Mina San Rafael y el otro en el nevado San Francisco de la mina Quenamari, de los cuales salen varios diques.

Una cortada en el nivel 4 200 entre la mina San Rafael y Quenamari muestra que los dos intrusivos tienden a ser un mismo cuerpo con un eje mayor NE-SW de 5 000 m de longitud. El contacto SO de este cuerpo estaría en las cercanías del dique semianular, mientras que el contacto noreste está en la veta Nazaret.

## 3. Mineralización

La mineralización es de origen hidrotermal en vetas de relleno y de reemplazamiento de fracturas y cuerpos de mineral en el monzogranito y en los sedimentos. La zona mineralizada de este distrito minero abarca una extensión de 5 km por 7,5 km, en donde se encuentran las minas San Rafael y Quenamari.

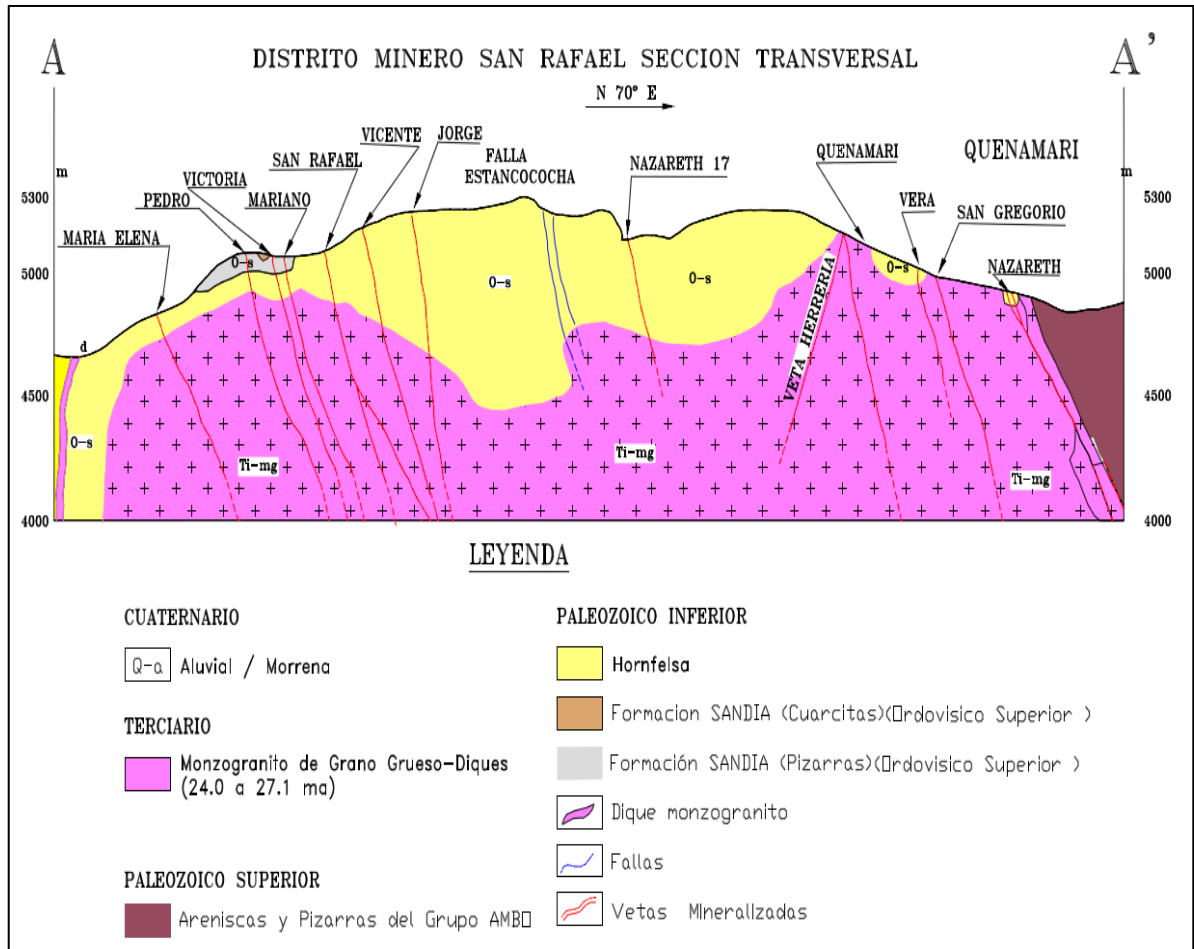


Figura 5: Sección geológica transversal (N70°E).

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

Los principales minerales de mena son: casiterita. Otros minerales son: Esfalerita, Galena, Enargita, Estibina, Scheelita, Wolframita. Los minerales de ganga son: Cuarzo, Clorita, Sílice, Pirita, Arsenopirita, Turmalina, Calcita, Fluorita, Marcasita, Pirrotita, Rodocrosita, Siderita y Adularia.



Minerales secundarios por oxidación o por enriquecimientos supervenidos son: Bornita, Calcosina, Novelita, Cuprita, Malaquita, Cobre Nativo, Acantita en una ganga con Goethita, Limonita, Pirolusita, Psilomelano. Estos fueron abundantes en la parte superior de las vetas San Rafael y Quenamari.

Palma (1981) distinguió 4 etapas de mineralización. La secuencia de mineralización de la veta San Rafael es compleja, porque existen varias etapas en las que el Cuarzo, Turmalina, Clorita, Casiterita y Calcopirita fueron repetidamente precipitados. Esta mineralización es similar a las vetas de Sn-Cu, Inglaterra. (Clark,1983).

- a) **Primera etapa: Cuarzo – Turmalina.**-Vetillas de Turmalina, vetas de Cuarzo-Turmalina y brechas de Turmalina. Esta etapa no tiene valores económicos. Las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 385°C a 545°C y las salinidades entre 38 a 60% de NaCl equivalente en peso.
- b) **Segunda etapa: Casiterita Botroidal – Cuarzo – Clorita.**-Esta es la más importante etapa de la mineralización de San Rafael. La Casiterita Botroidal está formada por agregados formados por la precipitación de una o más capas de Casiterita megascópicas, con formas curvas y groseramente hemisféricas. Esta variedad de Casiterita es llamada Estaño madera (wood tin) y es de color marrón claro a marrón. En esta etapa hay también abundante Clorita y Cuarzo, y cantidades menores de Calcopirita, Wolframita, Scheelita, Arsenopirita.

A menudo se encuentra Clorita finamente intercalada con Casiterita Botroidal. En algunos casos, la Casiterita Botroidal está recubierta por una fina capa de un mineral de color amarillo claro llamado Valamorfita. Las temperaturas de



homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 220°C a 400°C y las salinidades entre 5 a 18% de NaCl equivalente en peso.

- c) **Tercera etapa: Calcopirita – Estaño Acicular – Cuarzo – Clorita.**-Es la etapa principal de los sulfuros, con Calcopirita asociada con Esfalerita, Galena, Pirita, Arsenopirita, Pirrotita, Estannita, Fluorita, Bismuto Nativo, Clorita, Cuarzo, Adularia y poca Casiterita.



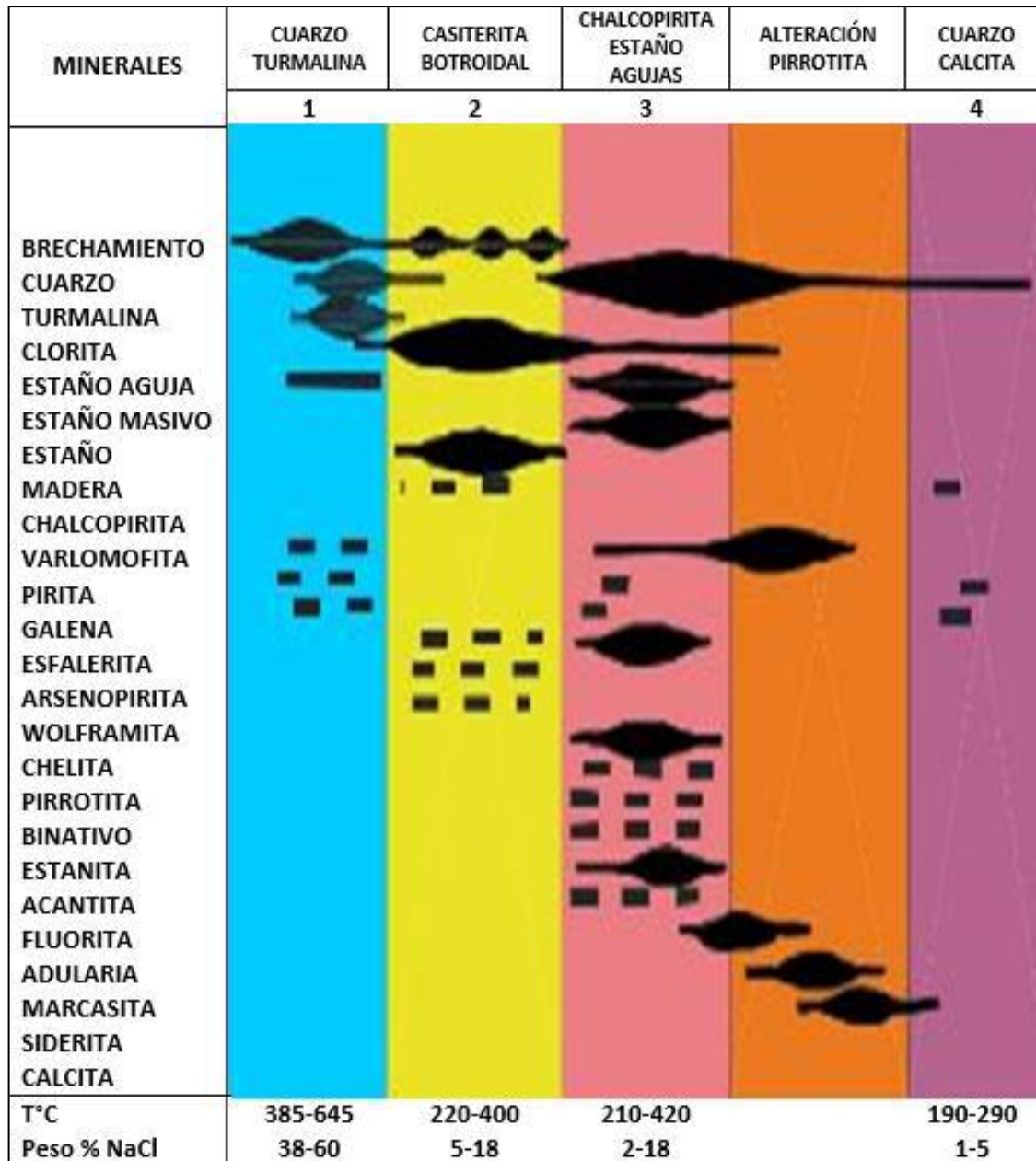


Figura 6: Las cuatro etapas de mineralización de la veta San Rafael

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

La Casiterita Acicular (needle tin) está en agregados radiales. Clorita y Cuarzo son los minerales de ganga más abundantes, Kontak (1984) sostiene que en una etapa final de esta mineralización la Pirrotita fue convertida a Marcasita, Arsenopirita, Pirita y Siderita. Las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas varían entre 210°C-420°C y la salinidad entre 18% de NaCl equivalente en peso.



- d) Cuarta etapa: Cuarzo – Calcita.**-Vetas de Cuarzo y Calcita, las últimas con trazas de Calcopirita y alteración clorítica. Estas vetas son de potencias < 12cm o más de potencia. Las temperaturas de homogenización varían entre 190°C a 290°C y las salinidades entre 1 y 5% de NaCl equivalente en peso.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

### 1) Diseño de voladura

Es el esquema de carguío en la forma en la que se distribuyen los explosivos con sus respectivos accesorios en taladros de una voladura, considerando básicamente el tipo de explosivo, números de Exagel-E 65 en la profundidad de taladros.

### 2) Parámetros

Se denomina así a las diversas ratios obtenidas en la práctica, a través de la observación en el lugar de trabajo.

### 3) Explosivos

Son compuestos químicos que encierran un enorme potencial de energía a altas presiones y temperaturas, que bajo la acción de un fulminante u otro estímulo externo reaccionan instantáneamente con gran violencia.

### 4) Factor de potencia (kg/t)

Es la cantidad de explosivo usada por tonelada de roca volada.

### 5) Sensibilidad

Habilidad de un explosivo para propagarse a través de la columna explosiva, también controla el diámetro crítico en el cual el explosivo trabaja adecuadamente.

### 6) Voladura



Es un fenómeno físico químico de la mezcla explosiva que al explotar rompe un trozo de roca o mineral.

**7) Taladro**

Agujero cilíndrico en la cual se deposita explosivo.

**8) Tubos de PVC**

Son tubos de plástico que surge a partir del cloruro de vinilo, se usó en la voladura controlada como espaciadores.

**9) Exanel**

Sistema de iniciación no eléctrico, compuesto por un detonador de retardo,

**10) Caja techo**

Es la roca sobre el lado superior de una veta inclinada.

**11) Caja piso**

Es la roca que se encuentra debajo de la veta.

**12) Tajeo**

Es material que contiene una combinación de minerales y que se usa parte del mineral roto como plataforma de trabajo.

**13) Veta**

Es un cuerpo tabular, o en forma de lámina, compuesto por minerales que han sido introducidos por diaclasas o fisuras en un macizo rocoso.

**14) Sobrerotura**



Excesiva excavación de la roca, en un plan de minado.

### **15) Arranque**

Son taladros perforados y cargados; primero en ser chispeados para generar una cara libre.

### **16) Burden**

Distancia desde el barreno al frente libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro. También denominado piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre.

### **17) Espaciamiento**

Es la distancia entre taladros cargados con explosivos de una misma fila o de una misma área de influencia en una malla de perforación de un frente.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

##### 3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es de nivel descriptivo, aquí se recopiló la información necesaria lo cual nos sirvió de base, para plantear una hipótesis o teoría, con el fin de establecer su estructura o comportamiento del macizo rocoso, evitando la sobrerotura de las cajas.

El estudio es cuantitativo, porque se ha analizado estadísticamente el porcentaje de sobrerotura con un post prueba.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental de nivel descriptivo ya que diseña estadísticamente a dos grupos, porque es el más adecuado para determinación del tipo de diseño del esquema de carguío de explosivos de acuerdo a los reportes y datos tomados en campo para lograr la comparación de los resultados de la sobrerotura con los explosivos de Examon P y los explosivos de Exagel-E 65, desacoplados con tubos de PVC en los tajeos de la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

### 3.2 POBLACIÓN

La población está constituida por todos los tajeos de las labores Subterráneas tridimensionales de la unidad minera San Rafael - MINSUR S.A. (Ver Tabla 2).

Tabla 2  
*Tajeos de la unidad minera San Rafael*

N°	TAJEJO
1	TJ 4224-1224 - Victoria
2	TJ 4170-1800 - Cyndhi
3	TJ 4200-1500 - Carmen
4	TJ 3950-1900 - Eliana

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

### 3.3 MUESTRA

La muestra para el estudio de investigación, está constituido por el tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria del nivel 4 239 al 4 224 en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A.-Puno.

### 3.4 TIPO DE MUESTREO

El muestreo es probabilístico en un sistema de muestreo sistemático, seleccionando así al resto de los individuos que conformarán la muestra.

TJ 4 224 y 1 224 de la veta Victoria.

- Panel 1
- Panel 2
- Panel 3



### **3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

#### **3.5.1 Variable independiente**

Diseño del esquema de carguío del explosivo para la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1224, de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

#### **3.5.2 Variable dependiente**

Minimizar la sobrerotura de cajas en el tajeo 4 224 -1 224 de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

### **3.6 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.6.1 Técnicas**

Para desarrollar el presente trabajo de investigación se recopiló informaciones de campo requeridas para la voladura controlada.

Se tomó los datos en el mismo lugar de trabajo, observando el diseño de distribución de carguío de explosivo en los taladros de producción de cada sección a disparar, analizando el factor de potencia y la fragmentación P80 obtenido en la voladura. (Ver Tabla 3 y 4).



Tabla 3  
*Factor de potencia de secciones de la veta Victoria*

Labor	Panel	Secciones	FP (kg/t)
TJ4224-1224 VETA VICTORIA	Panel 1	(-) 10, 11, 12	0,64
	Panel 1	(-) 13, 14, 15, 01, 02	0,77
	Panel 1	(-) 1, 2	0,52
	Panel 1	(-) 3, 4, 5, 6, 7	0,52
	Panel 1	(-) 7, 8	0,92
	Panel 2	(-) 26, 25, 24, 23, 22	0,51
	Panel 2	(-) 21, 20, 19	0,74
	Panel 2	(-) 18, 17, 16, 15	0,65
	Panel 2	(-) 14, 13, 12, 11	0,71
	Panel 2	(-) 10, 9, 8, 7	0,80
	Panel 2	(-) 6,5,4 (-)8,9	0,72
	Panel 3	(-) 5, 6	0,73
	Panel 3	(-) 7, 8	0,58
	Panel 3	(-) 12,1 3, 14, 15	0,71
	Panel 3	(-) 9,10,11	0,55
	Panel 3	(-) 18, 19	0,45

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.



Tabla 4

*Fragmentación P80 de secciones de veta Victoria*

Labor	Panel	Secciones	P80 (Pulgadas)
TJ4224-1224 VETA VICTORIA	Panel 1	(-) 10, 11, 12	6,63
	Panel 1	(-) 13, 14, 15, 01, 02	5,50
	Panel 1	(-) 1, 2	4,87
	Panel 1	(-) 3, 4, 5, 6, 7	6,30
	Panel 1	(-) 7, 8	6,00
	Panel 2	(-) 26, 25, 24, 23, 22	9,21
	Panel 2	(-) 21, 20, 19	8,28
	Panel 2	(-) 18, 17, 16, 15	7,00
	Panel 2	(-) 14, 13, 12, 11	5,51
	Panel 2	(-) 10, 9, 8, 7	6,60
	Panel 2	(-) 6,5,4 (-)8,9	5,06
	Panel 3	(-) 5, 6	7,08
	Panel 3	(-) 7, 8	8,43
	Panel 3	(-) 12,1 3, 14, 15	6,00
	Panel 3	(-) 9,10,11	5,51
	Panel 3	(-) 18, 19	5,61

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

**3.6.2 Instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos utilizados para el estudio de investigación son el reporte diario de voladura, cuaderno de apunte, para evaluar la voladura.

**a) Reporte diario de voladura**

El reporte diario de voladura consta de los tres turnos y guardias como el A, B y C, donde el jefe de guardia del área de perforación y voladura, llena los datos indicados de cada turno y es de la forma siguiente:

- Tipo de voladura



- Turno
- N° de secciones
- Total de explosivos
- Factor de potencia

#### **b) Cuaderno de apuntes**

El cuaderno de apuntes, sirve para la toma de datos en el campo, para los cálculos y apuntes que se ha proyectado en el esquema de carguío de explosivos con los espaciadores de tubos de PVC y tomar algunas observaciones de lo planeado en el campo a ejecutar, tomando en cuenta lo siguiente:

- Labor disparada
- N° de secciones
- N° de taladros
- Kilos de explosivo por taladro
- Tubos de PVC por taladro
- Accesorios de voladura

### **3.7 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

La toma de datos se ha procesado en una base de datos en Excel para tener su respectivo análisis, revisión de datos y cuadro estadísticos.

La toma de datos de fragmentación después de la voladura se ha procesado en el programa de P80 y Excel para analizar y proyectar los cuadros de resultados

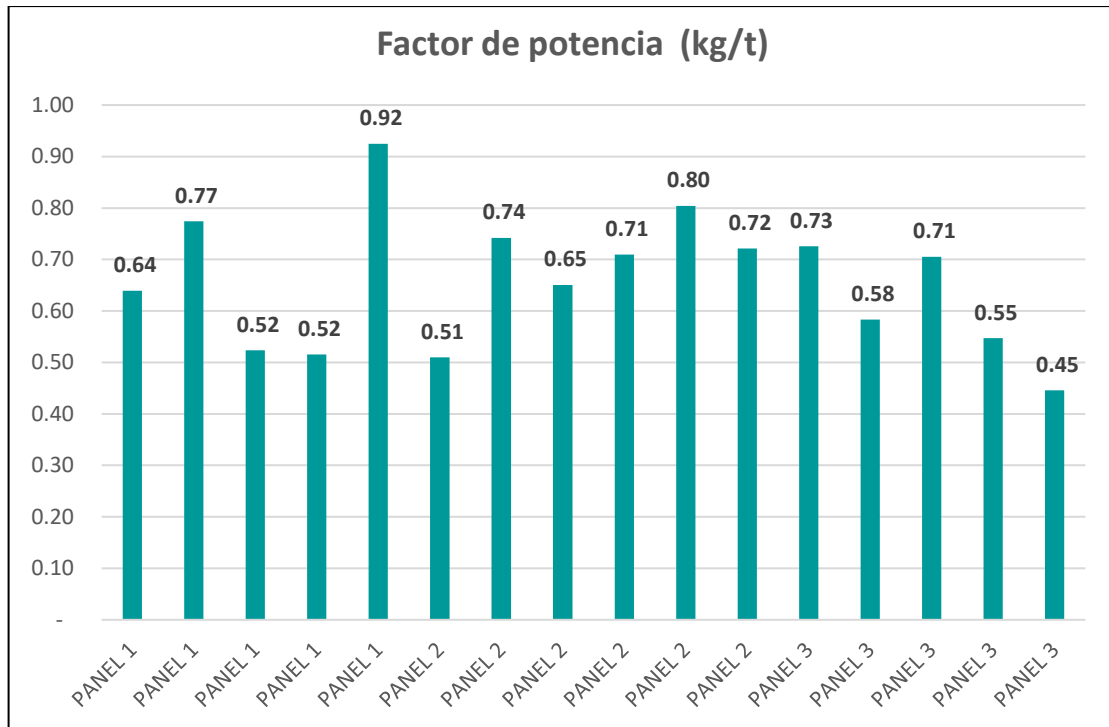


Figura 7: Análisis de factor de potencia por panel

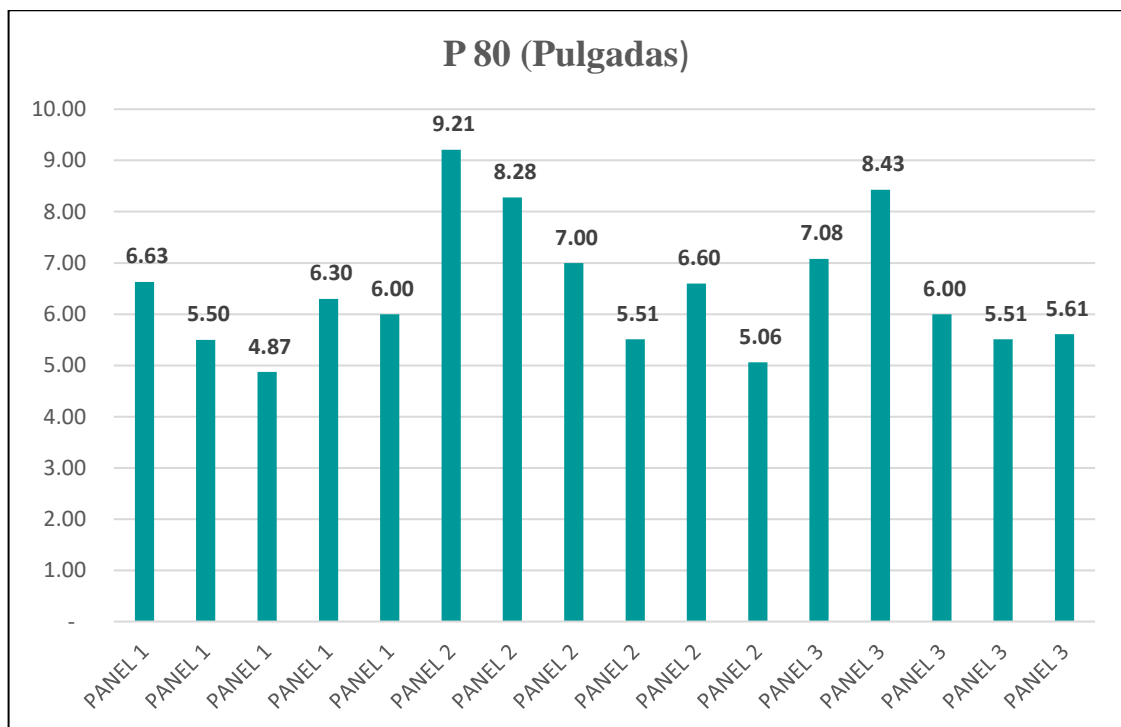


Figura 8: Análisis de fragmentación de P80 por panel

### 3.8 UBICACIÓN

Geográficamente la mina San Rafael de la compañía MINSUR S.A. – Puno, desde el punto de vista Regional, se ubica en las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental de los Andes del Perú y desde el punto de vista local se encuentra ubicado en el nevado Quenamari. San Rafael está al suroeste del nevado San Bartolomé de Quenamari a 5 297 m.s.n.m.

Está en el distrito de Antauta, provincia de Melgar y departamento de Puno, siendo las coordenadas geográficas 70° 19' longitud oeste y 14° 14' latitud sur y en las coordenadas UTM 357 730 E y 8 426 570 N, de la hoja Macusani N° 29-v.

Tabla 5  
*El acceso a la unidad minera San Rafael*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (km)</b>	<b>Tipo de vía</b>	<b>Vía Principal</b>
Juliaca - Azángaro	70	Asfaltada	Carretera Interoceánica
Azángaro - San Antón	30	Asfaltada	Carretera Interoceánica
San Antón – Antauta	80	Asfaltada	Juliaca – Mina San Rafael
Antauta - Cumani	5	Afirmada	Antauta– Mina San Rafael
Total	185		

Fuente: Unidad Minera San Rafael MINSUR S.A.

### 3.9 CLIMA

El clima que predomina es frío y seco durante todo el año, es más frío en los meses del invierno austral y es caluroso durante los días del verano. En los meses de heladas, junio-agosto las temperaturas varían entre 2°C y -15°C. La precipitación es de 744 mm al año. El mes más seco es junio con 6 mm a 138 mm, mientras que la caída media es en enero y es el mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.



### **3.10 FLORA Y FAUNA**

La vegetación es escasa y pobre, generalmente está cubierta de flora de altura conocidos como ichu.

La fauna en la zona es con la presencia de ganado vacuno, ovino y poca presencia de auquénidos como alpacas, llamas y vicuña, los mismos que habitan en las faldas del nevado Quenamari y frente a la laguna Chocñacota.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 4.1.1 Datos y resultados

Las pruebas del trabajo de investigación se han realizado en el tajeo de producción 4 224 - 1 224 de la veta Victoria, en el área de perforación y voladura, para minimizar la sobrerotura de las cajas de la estructura, tomando los datos del panel 5 con el explosivo Examon P y Exagel-E 65 en el panel 1, panel 2 y panel 3. (Ver Tablas 6 y 7).

##### 4.1.2 Cálculo del factor de potencia

Factor de potencia = Carga explosiva (kg) / Toneladas de mineral (t)

Tonelada de mineral (t) = E \* B \* H \* D

Donde:

E = Espaciamiento (m)

B = Burden (m)

H = Altura de banco (m)

D = Densidad del mineral (t/m<sup>3</sup>)

##### 4.1.3 Cálculo del factor de potencia en el tajeo utilizando Examon P

E = 0,8 m

B = 0,8 m

H = 12 m

D = 2,72 t/m<sup>3</sup>

Toneladas de mineral (t) = 0,8 m \* 0,8 m \* 12 m \* 2,72 t/m<sup>3</sup> = 20,88 t

Carga explosiva (kg) = (H-Ts)\*Ce



Donde:

Ts = Taco superior (m)

Ce = Cantidad d explosivo (kg/m)

Carga explosiva (kg) =  $(12m-0,8m) * 2,5 \text{ kg/m}$

Carga explosiva (kg) = 28,4 kg

Factor de potencia = Carga explosiva (kg) /Toneladas de mineral (t)

Factor de potencia = 28,4 kg / 20,88 t

Factor de potencia = 1,36 kg/t.

#### 4.1.4 Cálculo del factor de potencia en el tajeo utilizando Exagel-E 65

E = 0,8 m

B = 0,8 m

H = 13 m

D = 2,72 t/m<sup>3</sup>

Toneladas de mineral (t) =  $0,8 \text{ m} * 0,8 \text{ m} * 13 \text{ m} * 2,72 \text{ t/m}^3 = 22,63 \text{ t}$

Carga explosiva (kg) =  $[(H-(Ts + Ti)) - Cd] * Ce$

Donde:

Ts = Taco superior (m)

Ti = Taco inferior (m)

Cd = Carga desacoplada (m)

Ce = Cantidad d explosivo (kg/m)

Carga explosiva (kg) =  $[(13 \text{ m} - (1,00 \text{ m} + 0,40 \text{ m})) - 5,6 \text{ m}] * 2,3 \text{ kg/m}$

Carga explosiva (kg) = 13,7 kg

Factor de potencia = Carga explosiva (kg) /Toneladas de mineral (t)

Factor de potencia = 13,7 kg / 22,63 t

Factor de potencia = 0,60 kg/t.

Tabla 6  
*Factor de potencia con Examon P*

Panel 5	Sección	N° taladro	Examon P(unidad)	Explosivo (kg)	Tonelada (t)	FP (kg/t)
Panel 5	1	12	14	340,57	178,31	1,91
Panel 5	1	2	3	75,48	41,08	1,84
Panel 5	2	6	6	157,34	86,52	1,82
Panel 5	3	8	9	217,23	125,96	1,72
Panel 5	2	4	4	112,32	77,28	1,45
Panel 5	2	4	5	126,80	86,53	1,47
Panel 5	4	10	12	290,52	182,00	1,60
Panel 5	5	6	7	164,61	222,28	0,74
Panel 5	3	8	9	230,21	136,02	1,69
Panel 5	3	8	10	253,49	144,07	1,76
Panel 5	4	14	15	383,81	212,52	1,81
Panel 5	2	8	8	205,22	123,13	1,67
Panel 5	2	8	8	212,31	113,10	1,88

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A.

Tabla 7  
*Factor de potencia con Exagel-E 65*

Panel	Sección	N° taladro	Cartucho Exagel-E65	Tubo PVC (unidad)	Explosivo (kg)	Tonelada (t)	FP (kg/t)
Panel 1	3	4	60	8	57,69	90,24	0,64
Panel 1	5	10	150	20	144,23	186,31	0,77
Panel 1	2	4	60	8	57,69	110,24	0,52
Panel 1	4	4	60	8	57,69	111,96	0,52
Panel 1	2	12	180	24	173,08	187,13	0,92
Panel 2	5	10	150	20	144,23	282,97	0,51
Panel 2	3	6	90	12	86,54	116,61	0,74
Panel 2	4	8	120	16	115,38	177,36	0,65
Panel 2	4	8	120	16	115,38	162,68	0,71
Panel 2	4	8	120	16	115,38	143,49	0,80
Panel 2	5	10	150	20	144,23	199,93	0,72
Panel 3	2	4	60	8	57,69	79,53	0,73
Panel 3	2	4	60	8	57,69	98,96	0,58
Panel 3	4	4	60	8	57,69	81,8	0,71
Panel 3	3	8	120	16	115,38	210,87	0,55
Panel 3	2	6	90	12	86,54	194,14	0,45

Uno de los parámetros que se ha tomado en cuenta es el factor de potencia para ver el consumo de los explosivos y así optimizar el consumo del explosivo y



bajar la energía para evitar el descaje de la estructura, el resumen se muestra en la Tabla 8 y en la Figura 10.

Tabla 8  
*Diferencia de factor de potencia con Examon P y Exagel-E 65*

Description	Factor de potencia (kg/t)
Voladura con Examon P	1,64
Voladura controlada con Exagel-E 65	0,66
Diferencia del factor de potencia (kg/t)	0,98

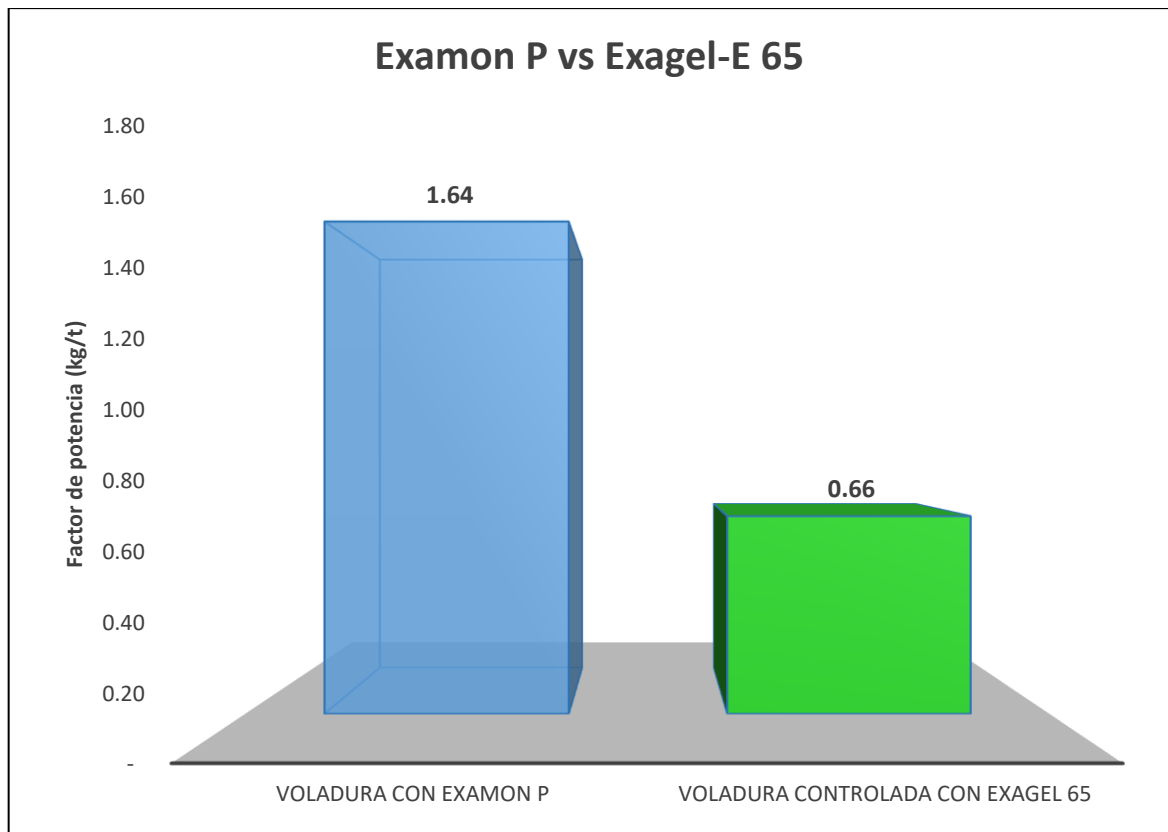


Figura 9: Factor de potencia de voladura con Examon P vs Exagel-E 65

#### 4.1.5 Resultado de la sobrerotura en la voladura

Las cajas de las vetas, principalmente las cajas techo con fracturamiento paralelo a las vetas colapsan y se derrumban durante el disparo o posteriormente, mezclándose con el mineral volado proveniente de las vetas todo lo cual es



recogido en el nivel de extracción y llevado a la planta de tratamiento. Los tajeos permanecen abiertos, a modo de caserones, hasta que se completa la extracción y finalmente se estabilizan con el relleno cementado o detrito.

Para la medición de las sobre rotura se ha utilizado un instrumento láser desarrollado por el sistema levantamiento topográfico, dicho equipo se instala en un extremo del tajeo y se mide 02 puntos topográficos para enlazar las coordenadas de la mina con el volumen medido.

#### **4.1.6 Cálculo de la sobrerotura**

Para calcular la sobre rotura de las cajas se ha tomado en cuenta la sección proyectada y veta sección ejecutada después de voladura que se obtiene mediante el levantamiento Optech.

La sobrerotura se ha calculado mediante la siguiente fórmula:

$$Sr = (Re-Rp)/Rp * 100$$

Donde:

Re = Rotura ejecutada (t)

Rp = Rotura proyectada (t)

Sr = Sobrerotura en %

#### **4.1.7 Cálculo de sobrerotura en el tajeo utilizando Examon P**

La sobrerotura presentada con el uso del agente de voladura explosivo Examon P de elevada producción gases que desplaza los bloques preformados entre las grietas de la roca. Teniendo exceso de sobrerotura en las cajas, ya que

esta está cargada con puro Examon P y un taco superior e inferior, como vemos en la Figura 10 de diseño de carguío del agente explosivo.

Datos sin aplicar voladura controlada en la sobrerotura caso panel 5 del tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria, teniendo como resultado un promedio total de 24,36% de sobrerotura. (Ver Tabla 9).

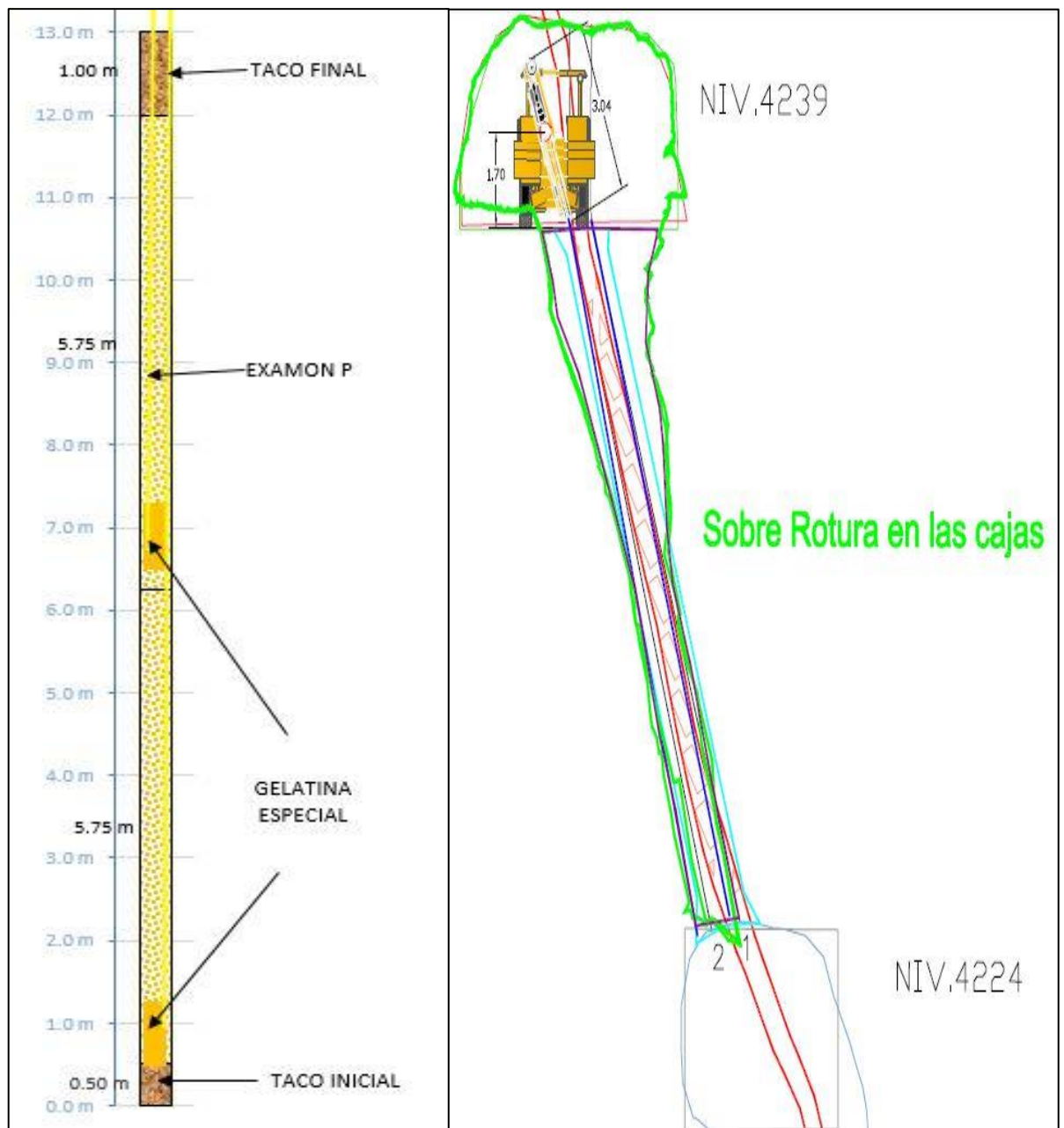


Figura 10: Diseño de carguío con Examon P

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A

Tabla 9  
*Porcentaje de sobrerotura de panel 5 de la veta Victoria*

N° sección	Rotura proyectado(t)	Rotura ejecutado (t)	Sobre rotura (t)	% de sobre rotura
0	138,32	178,32	40,00	28,92
1	34,49	41,08	6,59	19,11
2	36,05	41,60	5,55	15,40
3	33,45	44,92	11,47	34,28
4	36,78	46,15	9,37	25,48
5	33,24	39,22	5,98	17,98
6	32,67	40,59	7,92	24,24
7	35,57	39,05	3,48	9,80
8	34,19	38,23	4,04	11,82
9	33,84	39,99	6,15	18,17
10	35,35	46,54	11,19	31,66
11	34,71	46,32	11,61	33,46
12	34,15	45,65	11,50	33,68
13	36,16	44,95	8,79	24,32
14	38,01	45,08	7,07	18,60
15	35,33	39,89	4,56	12,90
16	35,50	47,86	12,35	34,79
17	35,81	45,67	9,86	27,53
18	34,21	44,75	10,53	30,79
19	36,38	44,11	7,73	21,26
20	33,88	44,06	10,17	30,03
21	37,04	45,59	8,56	23,11
22	34,02	46,37	12,35	36,30
23	34,72	45,13	10,41	29,97
24	36,03	46,85	10,82	30,04
25	44,40	52,09	7,70	17,34
26	45,01	48,81	3,79	8,43
27	45,11	48,35	3,24	7,19
28	46,26	54,62	8,36	18,07
29	46,26	60,74	14,47	31,29
30	46,04	61,25	15,20	33,02
31	45,39	61,88	16,49	36,33
32	48,03	59,36	11,33	23,59
33	43,75	53,74	10,00	22,85
<b>Total</b>	<b>1 390,14</b>	<b>1 728,80</b>	<b>338,66</b>	<b>24,36</b>

Fuente: Unidad minera San Rafael – MINSUR S.A.

#### 4.1.8 Cálculo de sobrerotura en el tajeo utilizando Exagel-E 65 y tubos de PVC

Para una voladura controlada se deben espaciar de tal modo, que las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor resistencia, es decir de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales. Para la distribución se ha considerado la repartición de la energía del explosivo emulsión Exagel-E 65 de 2"x 16", junto con los tubos de PVC.

El espaciamiento entre cartuchos se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{Lc - N * Le}{N - 1}$$

Donde:

Lc =Longitud de la columna explosiva (m)

N =Número de cartuchos (unidades)

Le =Longitud de cartucho explosivo (m)

E =Espaciamiento (m)

$$E = \frac{11,60 - 15 * 0,40}{15 - 1} = 0,40 \text{ m}$$

Con los datos tenemos un espaciamiento de 0,40 m

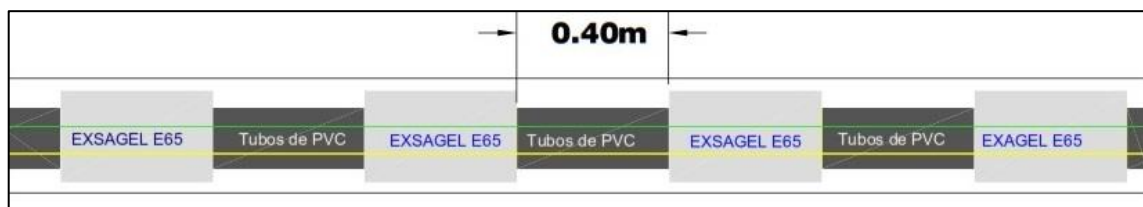


Figura 11: Diseño del espaciado de tubo de PVC

Distribuyendo las cargas explosivas se obtuvo el siguiente esquema de carguío, para la voladura controlada del tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria,

para así controlar las cajas de la veta, ejecutando así en los paneles 1, panel 2 y panel 3 en la veta Victoria obteniendo buenos resultados con el diseño de carguío. (Ver Figura 12).

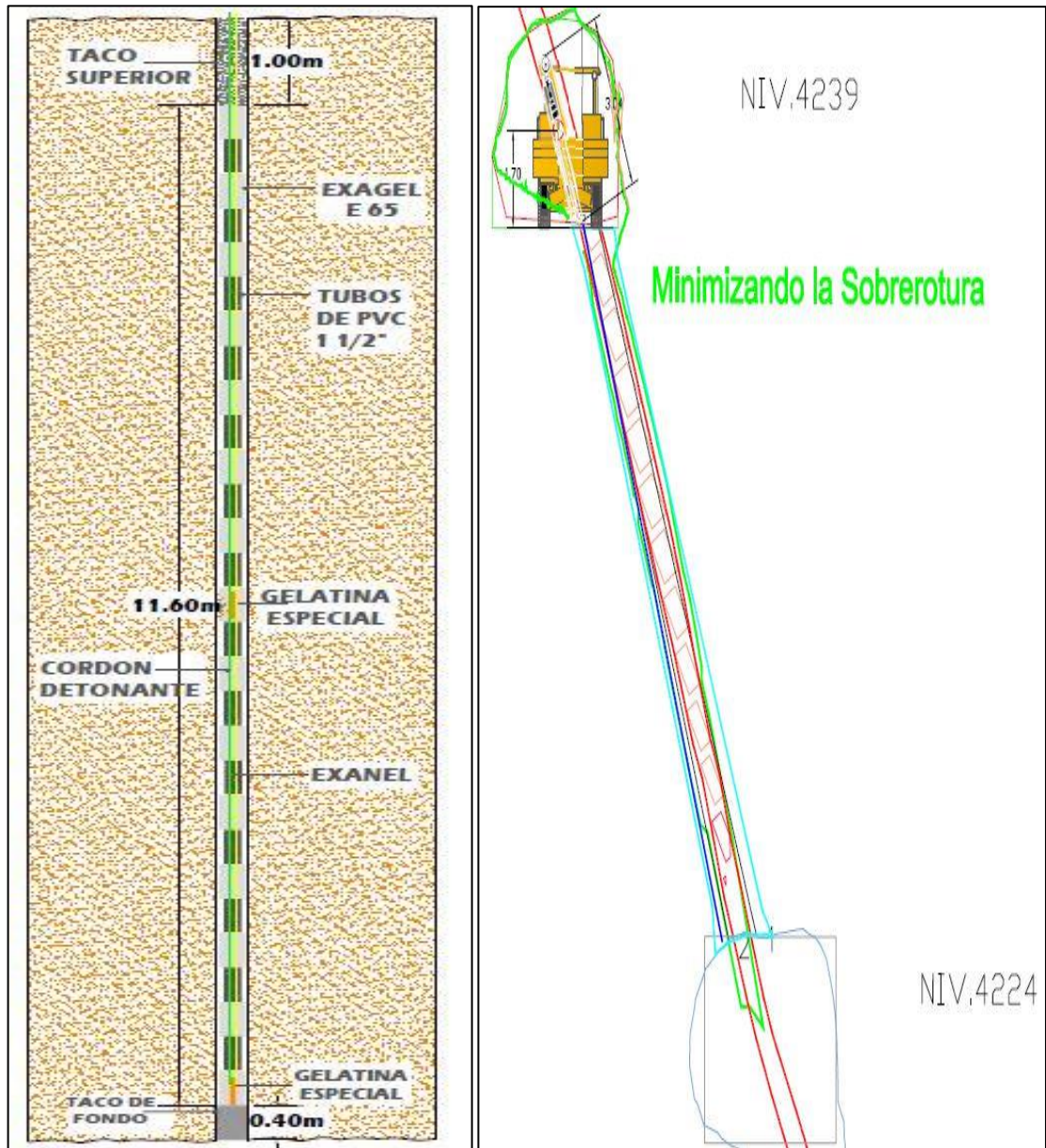


Figura 12: Diseño de carguío con Exagel-E 65 y espaciador PVC

Fuente: Unidad minera San Rafael MINSUR S.A

Datos aplicando la voladura controlada en la sobrerotura caso panel 1, panel 2 y panel 3 del tajeo 4 224 - 1 224 de la veta Victoria, del nivel 4 239 al nivel 4 224, teniendo como resultado un promedio de 7 % de sobrerotura en el Panel 1; 10,18 % en el Panel 2 y 11,25 % en el Panel 3.



Tabla 10  
*Porcentaje de sobrerotura en el panel 1 de la veta Victoria*

N° sección	Rotura proyectado(t)	Rotura ejecutado (t)	Sobre rotura (t)	% De sobre rotura
0	90,24	95,21	4,97	5,51
1	37,95	43,53	5,58	14,72
2	35,99	39,08	3,09	8,59
3	37,60	40,06	2,46	6,54
4	36,67	39,26	2,59	7,07
5	34,50	36,75	2,25	6,52
6	36,28	37,22	0,94	2,60
7	34,65	35,37	0,72	2,07
8	33,54	35,35	1,81	5,40
9	36,77	40,33	3,57	9,71
10	36,66	40,11	3,45	9,41
11	37,19	41,23	4,04	10,85
12	37,34	40,16	2,82	7,55
13	37,52	42,08	4,55	12,13
14	39,22	40,91	1,68	4,29
15	38,88	39,22	0,34	0,87
<b>Total</b>	<b>641,02</b>	<b>685,88</b>	<b>44,87</b>	<b>7,00</b>



Tabla 11  
*Porcentaje de sobrerotura del panel 2 de la veta Victoria*

N° sección	Rotura proyectado(t)	Rotura ejecutado (t)	Sobrerotura (t)	% de sobre rotura
1	36,96	37,30	0,34	0,92
2	34,54	35,19	0,65	1,89
3	36,17	37,10	0,93	2,57
4	35,89	37,26	1,37	3,83
5	35,57	36,80	1,23	3,46
6	33,87	36,07	2,21	6,52
7	33,57	36,01	2,44	7,27
8	37,35	40,01	2,66	7,13
9	34,85	38,31	3,46	9,94
10	36,22	39,87	3,65	10,08
11	35,74	44,98	9,24	25,86
12	35,03	41,02	5,99	17,09
13	35,70	41,28	5,58	15,62
14	36,21	37,92	1,70	4,70
15	52,82	53,56	0,74	1,40
16	33,85	38,68	4,83	14,26
17	34,09	41,58	7,50	22,00
18	36,06	43,54	7,47	20,72
19	35,61	37,51	1,90	5,33
20	35,14	38,81	3,67	10,45
21	36,49	40,29	3,80	10,41
22	37,58	43,30	5,72	15,21
23	36,53	42,05	5,52	15,11
24	36,12	39,69	3,57	9,88
25	35,03	41,49	6,46	18,43
26	37,70	42,28	4,57	12,13
27	38,28	41,16	2,88	7,53
<b>Total</b>	<b>982,95</b>	<b>1 083,04</b>	<b>100,09</b>	<b>10,18</b>



Tabla 12  
*Porcentaje de sobrerotura del panel 3 de la veta Victoria*

N° sección	Rotura proyectado(t)	Rotura ejecutado (t)	Sobre rotura (t)	% de sobre rotura
5	38,95	43,59	4,64	11,92
6	39,91	42,64	2,73	6,84
7	38,74	43,74	5,00	12,90
8	40,08	43,87	3,79	9,46
9	39,76	40,62	0,86	2,16
10	39,34	43,07	3,73	9,49
11	38,16	41,69	3,53	9,26
12	37,29	42,01	4,72	12,66
13	38,60	41,68	3,08	7,98
14	40,19	45,16	4,97	12,37
15	41,23	49,40	8,16	19,80
16	41,67	46,27	4,60	11,04
17	37,87	43,10	5,24	13,83
18	41,53	47,19	5,66	13,63
19	44,72	51,26	6,54	14,61
<b>Total</b>	<b>598,05</b>	<b>665,30</b>	<b>67,25</b>	<b>11,25</b>

Tabla 13  
*Minimización de la sobrerotura*

Descripción	Panel	Rotura Proyectado(t)	Rotura Ejecutado (t)	Sobre rotura (t)	% De sobre rotura
Voladura Inicial	5	1 390,14	1 728,80	338,66	24,36%
Voladura Controlada	3	598,05	665,30	67,25	11,25%
Voladura Controlada	2	982,95	1 083,04	100,09	10,18%
Voladura Controlada	1	641,02	685,88	44,87	7,00%
<b>Minimizando de sobrerotura promedio</b>					<b>14,89%</b>

En las pruebas haciendo uso de la voladura controlada, se obtuvieron los resultados podemos ver en la tabla, cuanto obtuvimos minimizar en los 3 panel del Tajeo 4224 -1224, de la veta Victoria un promedio de 14,89%.

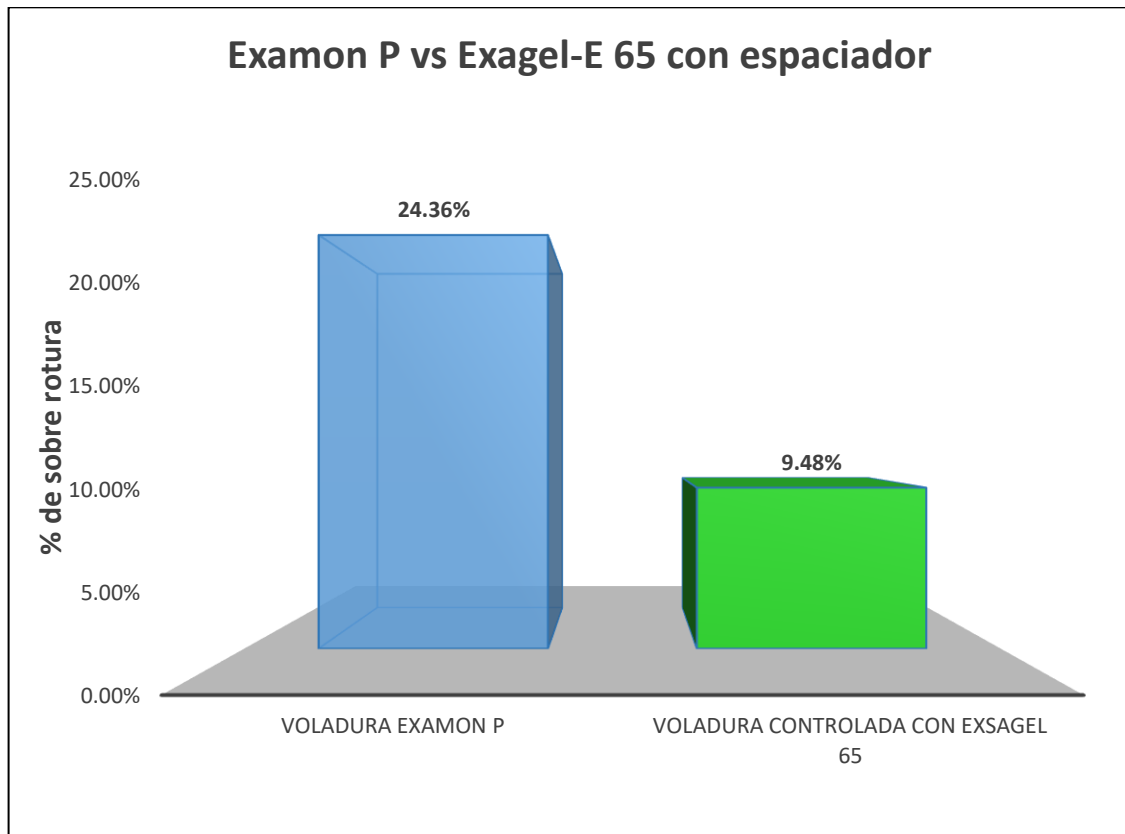


Figura 13: Diferencia de % de sobrerotura con Examon P vs Exagel-E 65 espaciado

## 4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

Según Chávez, A. (2018) en su tesis afirma que al aumentar de 95,20% al 98,15% el control de la voladura y nos indica, que conociendo las características de perforación y voladura, y dejando taladros vacíos en la corona de avance de la labor, se tiene un control de la sobre rotura de la labor en el nivel 660, obteniendo un 5.43% de sobre excavación en la sección de la labor de 2,4 m x 2,7 m, en la Unidad Minera Acchilla.

En el presente trabajo de investigación se analizó la realización de los taladros vacíos, y según el diseño y el ancho de minado de la estructura del macizo rocoso, no es adaptable para el tipo de terreno en el cual se hizo las pruebas para el control de voladura.



Según Castro, M. y Rodríguez, C. (2016) en su tesis nos indica que para minimizar la sobrerotura en la corona de las diferentes labores mineras del Consorcio Minero Horizonte, usando explosivos de exsablock de 7/8" x 7", espaciados a un máximo de 16" entre cartuchos dentro de la mitad de diámetro del tubo de PVC, iniciando primero la secuencia de salida del disparo de la voladura, se ha minimizado la sobrerotura en un 17,44%, y también se ha optimizado los costos del disparo.

En el presente trabajo de investigación se aplicó a un margen de 0,40 m de espaciado entre los explosivos, logrando minimizar la sobrerotura en un 9,48 %, y también se ha minimizado los costos de disparo en los tajeos de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael – MINSUR S.A.- Puno.

Según Carrillo, L. (2003) en su tesis nos indica que en las voladuras controladas se utilizan varios esquemas de diseño para reducir la sobre rotura de la roca, debiéndose hacer las pruebas correspondientes en cada caso, para ello se debe procurar una buena distribución de explosivos conociendo las características de los explosivos, de igual manera las características de la roca lo cual es fundamental, esto ayuda a tener una mejor granulometría.

En el presente trabajo de investigación nos basamos en plantear esquemas de diseño de carguío y la distribución de las cargas de explosivos con espaciadores de tubos de PVC y obteniendo resultados óptimos logrando minimizar la sobrerotura de las cajas de 24,36 % a 9,48%, con una diferencia de 14,88 % en los tajeos de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael – MINSUR S.A. – Puno.



## V. CONCLUSIONES

Mediante la información recopilada en la voladura anterior en el tajeo 4 224 - 1 124 de la veta Victoria se trabajó con un factor de potencia del explosivo de 1,64 kg/t, y una sobrerotura de las cajas de 24,36 %, los mismos que han sido minimizados en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

Mediante el diseño de voladura con explosivo Exagel-E 65, desacopladas con tubos de PVC, para la voladura controlada en el tajeo 4 224 - 1 224, de la veta Victoria, se ha logrado minimizar la sobrerotura de las cajas techo y piso de 24,36 % a 9,48 % con una diferencia de 14,88 % y también se ha minimizado el factor de potencia del explosivo de 1,64 kg/t a 0,66 kg/t con una diferencia de 0,98 kg/t en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. - Puno.



## VI. RECOMENDACIONES

En los explosivos se debe tener en cuenta la cantidad de energía del explosivo a usar, es necesario el uso de tacos lo cual genera la resistencia a la salida de gases y aumenta la energía sobre la roca de igual manera seguir realizando el control de factor de potencia del rendimiento de los explosivos.

Es necesario implementar un plan de carguío de los taladros para todos los tajeos donde se realiza la voladura y realizar pruebas de voladura con diversos diagramas de carguío con espaciadores, teniendo en cuenta que la distribución de carga explosiva es un factor muy importante para la voladura de cada sección, en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. - Puno.



## VII. REFERENCIAS

- Alvarez, J. (2001). *Comportamiento estructural y mineralización de estaño y cobre, Mina San Rafael*. Lima.
- Avellaneda H. M. A. (2002). *Estudio Técnico para mejorar la productividad en perforación y voladura en Minas Arirahua*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Barriga, P. T. (1998). *Sistema integral de fragmentación de rocas como una nueva alternativa para la minería superficial*. Puno.
- Cámac, T. A. (2005). *Manual de Perforación y Voladuras de Rocas*. Puno: FIM - UNA.
- Carrillo, W. J. (13 de Julio de 2003). *Uso de explosivo en demoliciones para voladura controladas*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 109-118.
- Castro, M. J. J., & Rodríguez, J. M. (2016). *Reducción de la sobre rotura en el crucero 3910 del nivel 2360 de la mina "PEC" de la CIA. Consorcio Minero Horizonte*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Trujillo.
- Chavez, A. F. E. (2018). *Metodología de perforación y voladura controlada en la construcción del nivel 660, para evitar la sobre excavación en la Mina Acchilla, U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.* Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- De Ybarra, M. M. F. (2013). *Análisis de perforación y voladura controlada para evitar sobredimensionamiento de Galerías en la Unidad Antonieta - Compañía de Minas Arirahua*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- EXSA. (2001). *Manual practico de voladura*. Lima: Edición especial Perú.
- EXSA. (2009). *Manual practico de voladura*. Lima: 3ra edición Perú.



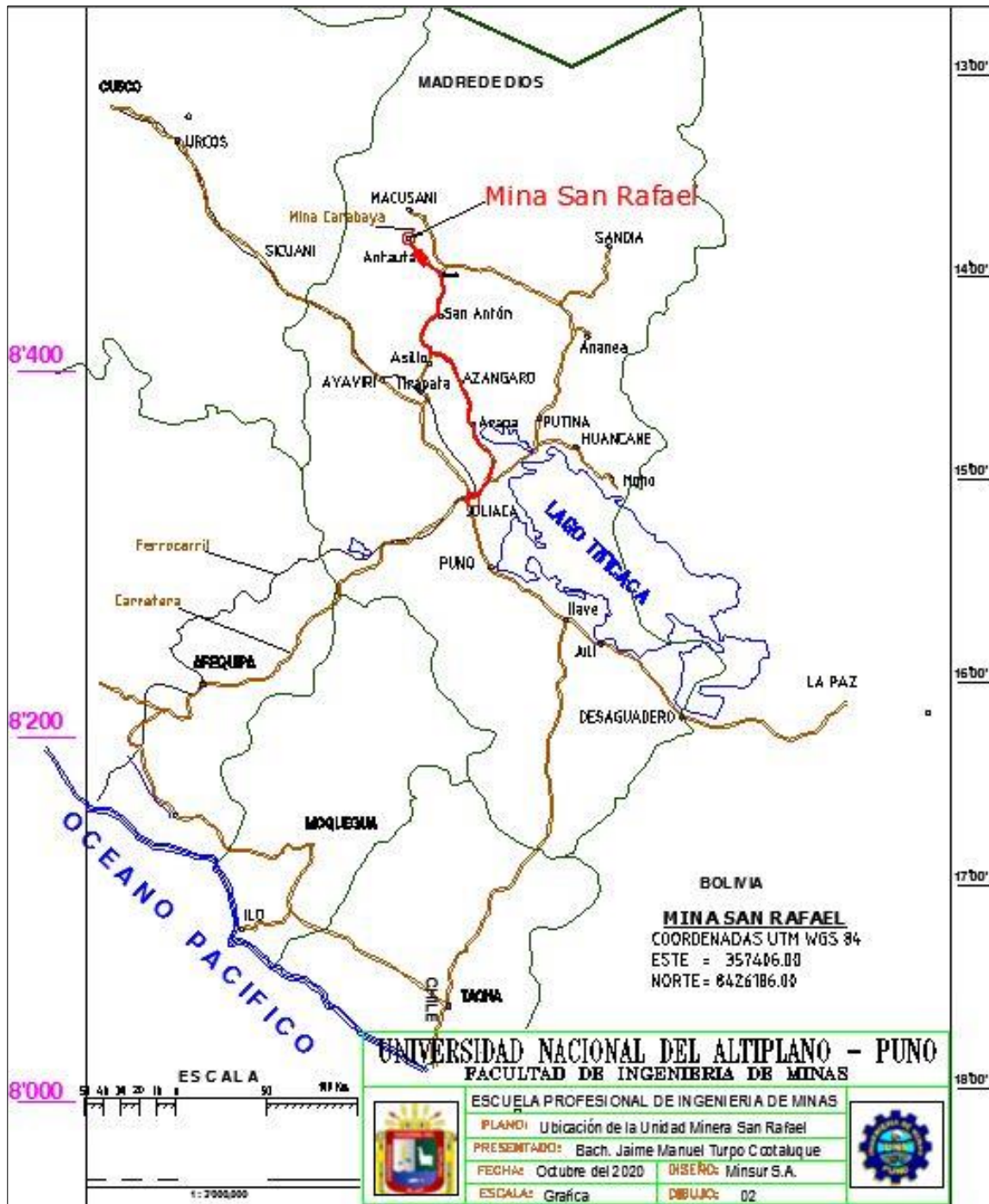
- Famesa Explosivos. (2008). *Seguridad asociada a la manipulación y uso de explosivos en mina subterránea.*
- Huanachea, V. J. T. (2007). *Aplicación de la voladura controlada en la excavación de labores subterráneas en Consorcio Minero Horizonte S.A. - Mina Parcoy.* Tesis de pregrado. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho.
- Konya, J. C., & Albarrán N, E. (1998). *Diseño de voladuras.* Madrid: España.
- Lopez, J. C. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas.* España: Instituto Geológico y Minero.
- Mina San Rafael. (2018). *Base de datos Área planeamiento.* Puno.
- Mina San Rafael. (2018). *Base de datos Área producción Mina.* Puno.
- Palma, V. (1981). *The San Rafael Tin-Copper Lode System, Puno, SE Perú.* Canada: *Master Thesis Queen's University.*



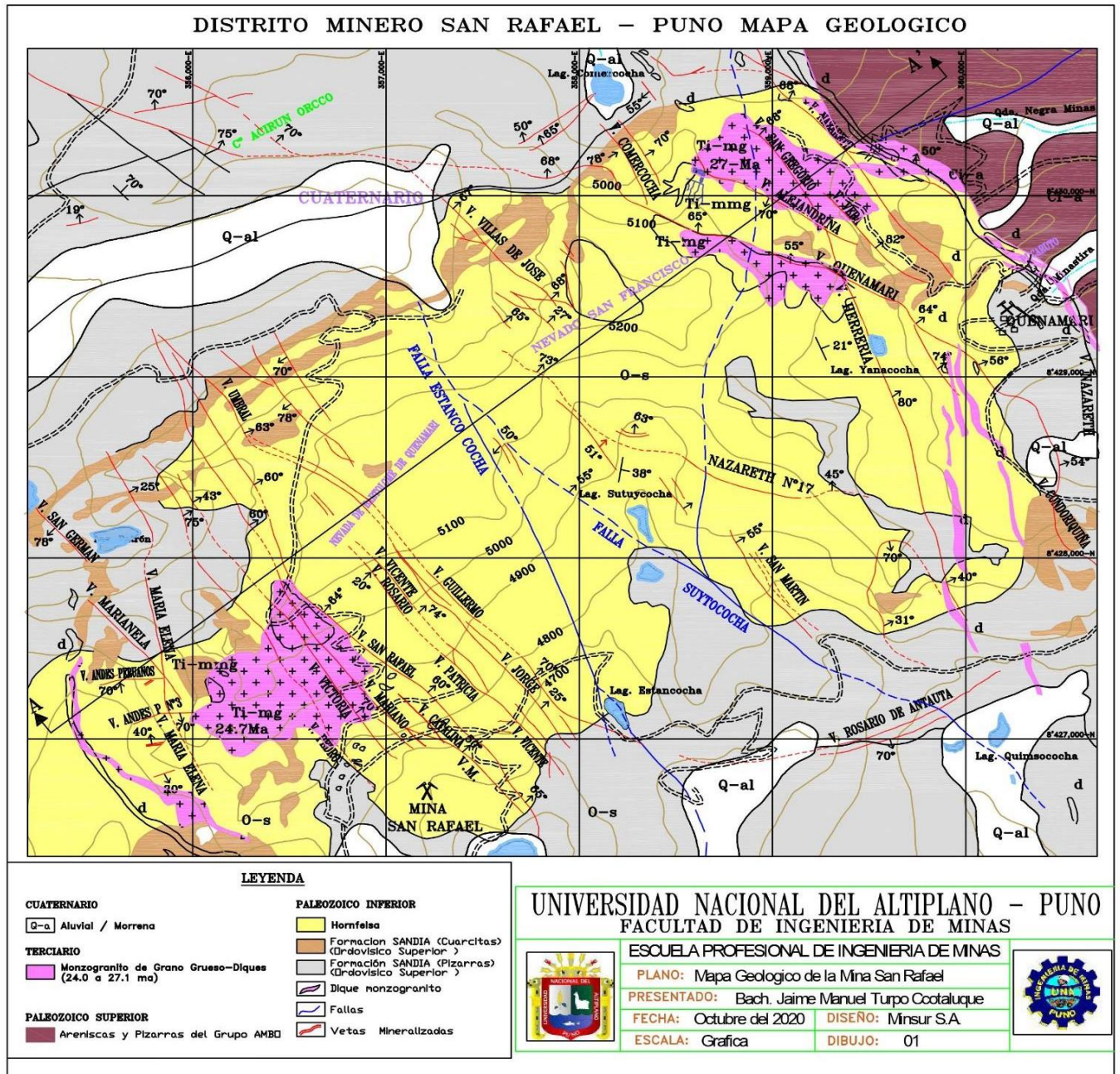
## ANEXOS



Anexo 1: Plano de ubicación de la unidad minera San Rafael



Anexo 2: Mapa geológico de la mina San Rafael MINSUR S.A.



Anexo 3: Vista panorámica de la mina San Rafael MINSUR S.A.



Anexo 4: Resultados de minimización de la sobrerotura de las cajas veta Victoria

