

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Diseño de malla de perforación y voladura, para  
mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad  
Minera Utunsa**

Raúl Quispe Mamani  
Adheir Junior Reyes Flores

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS**

**A** : Felipe Nestor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Jesús Fernando Martínez Ildelfonso  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 14 de julio de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE TALUDES, EN LA UNIDAD MINERA UTUNSA", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Raúl Quispe Mamani, Adheir Junior Reyes Flores, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 15 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

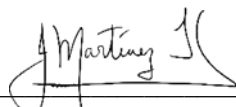
- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 20) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Asesor de tesis

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Adheir Junior Reyes Flores, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 47154987, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "Diseño de malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera UTUNSA", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de julio de 2023.



Adheir Junior Reyes Flores

DNI. No. 47154987

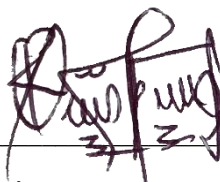
## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Raúl Quispe Mamani, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73224102, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "Diseño de malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera UTUNSA", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de julio de 2023.



---

Raúl Quispe Mamani

DNI. No. 73224102

# DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD DE TALUDES, EN LA UNIDAD MINERA UTUNSA

## ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

6%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Internet Source	2%
2	<a href="https://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Internet Source	2%
3	<a href="https://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	2%
4	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	1%
5	Submitted to Universidad Catolica de Trujillo Student Paper	1%
6	DQ ASESORIA & CONSULTORIA E.I.R.L.. "Modificación y Actualización del Plan de Cierre de la Cantera Antigua, Cantera Ayacucho y Cantera Acumulación Puno-IGA0020941", R.D. N° 00029-2022-PRODUCE/DGAAMI, 2022 Publication	1%

Submitted to Universidad Ricardo Palma

7	Student Paper	1 %
8	<a href="http://renati.sunedu.gob.pe">renati.sunedu.gob.pe</a> Internet Source	1 %
9	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Student Paper	1 %
10	<a href="http://www.grafiati.com">www.grafiati.com</a> Internet Source	1 %
11	<a href="http://repositorio.uct.edu.pe">repositorio.uct.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
12	Submitted to Universidad Alas Peruanas Student Paper	<1 %
13	<a href="http://www.imt.mx">www.imt.mx</a> Internet Source	<1 %
14	DIANOIA GROUP S.A.C.. "Tercer ITS del EIA del Proyecto Minero Anama-IGA0004129", R.D. N° 299-2017-SENACE/DCA, 2020 Publication	<1 %
15	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://doku.pub">doku.pub</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	<1 %

18	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Student Paper	<1 %
20	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Student Paper	<1 %
21	<a href="http://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
22	"Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control", Springer Science and Business Media LLC, 2020 Publication	<1 %
23	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	<1 %

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 20 words

Exclude bibliography  On





**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA, PARA  
MEJORAR LA ESTABILIDAD DE TALUDES, EN LA UNIDAD MINERA  
UTUNSA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**BACH. RAUL QUISPE MAMANI  
BACH. ADHEIR JUNIOR REYES FLORES**

**HUANCAYO - PERÚ**

**2023**

## **ASESOR**

Ing. Jesús Fernando Martínez Ildfonso

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, nuestro agradecimiento a Dios todopoderoso, por darnos vida y salud.

Luego, a la universidad y los catedráticos de la EAP de Ingeniería de Minas por sus sabias enseñanzas, para nuestra formación profesional.

## **DEDICATORIA**

Yo Raúl, dedico esta tesis a mis padres Evaristo y Roberta, por ser los pilares fundamentales durante mi formación profesional, cada uno de mis logros se los debo a ustedes. Me dieron la mejor formación que me sirvió como motivación para poder alcanzar mis objetivos personales y profesionales.

Yo Adheir, dedico esta tesis a mi esposa Briyidt, por el apoyo incondicional; a mis hijas Yuletsy y Yarely, quienes fueron mi inspiración a seguir luchando y llegar hacer un buen ejemplo para ellos; a mis padres: Daguberto y Herlinda, quienes constantemente me dieron su apoyo incondicional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
ASESOR .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.1.2 Formulación del problema .....	14
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo general.....	14
1.2.2 Objetivos específicos .....	14
1.3 Justificación e Importancia .....	14
1.3.1 Justificación practica.....	14
1.4 Hipótesis .....	15
1.4.1 Hipótesis general .....	15
1.4.2 Hipótesis específicas .....	15
1.5 Identificación de las variables .....	15
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	17
2.1 Antecedentes del problema .....	17
2.1.1 Antecedentes nacionales .....	17
2.2 Generalidades de la unidad minera Utunsa .....	21
2.2.1. Ubicación y accesibilidad .....	21
2.2.2 Geología.....	22
2.3 Bases teóricas .....	28
2.3.1. Análisis del método de diseño de taludes .....	28

2.3.2. Diseño de voladura .....	34
2.3.3. Parámetros dimensionales para el diseño de malla .....	35
2.3.4. Cálculos y distribución de la carga explosiva .....	41
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	46
3.1 Método y alcances de la investigación .....	46
3.1.1 Método general o teórico de la investigación .....	46
3.1.2 Alcance de la investigación .....	46
3.2 Diseño de la investigación .....	47
3.3 Población y muestra .....	47
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	47
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	47
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos. ....	47
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	48
4.1 Diseño de la malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la unidad minera Utunsa .....	48
4.1.1 Plan de minado en la unidad minera Utunsa.....	48
4.1.2 Control de operaciones de la unidad minera Utunsa.....	49
4.1.3 Caracterización geotécnica de la estabilidad de los taludes del banco 4672 del proyecto 18 de la unidad minera Utunsa.....	51
4.2 Control del proceso de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa .....	53
4.2.1 Estado situación de la perforación y voladura del Banco 4672 .....	53
4.2.2 Mejora del Diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 para mejorar la estabilidad de taludes .....	58
4.2.3 Mejora de la estabilidad de los taludes del banco 4672 proyecto 18 en la unidad minera Utunsa.....	64
4.3 Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar el costo por tonelada rota en la unidad minera Utunsa .....	70
CONCLUSIONES .....	74
RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXOS .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables .....	16
Tabla 2. Ubicación y accesibilidad de la unidad minera Utunsa .....	22
Tabla 3. Reserva total de mineral y desmonte.....	28
Tabla 4. Reserva de mineral y desmonte del banco 4672 – tajo.....	28
Tabla N. 5: Parámetros para determinar el burden del tajo .....	40
Tabla 6. Parámetros de diseño de tajo en la unidad minera Utunsa .....	48
Tabla 7. Plan de minado anual – unidad minera Utunsa .....	49
Tabla 8. Plan de minado superficial de la unidad minera Utunsa .....	50
Tabla 9. Parámetros de perforación y voladura para el banco 4672 del estado situacional .....	54
Tabla 10. Cálculo del burden y espaciamento con el modelo matemático de R. L Ash. del banco 4672 proyecto 18 .....	59
Tabla 11. Parámetros de perforación y voladura del diseño de malla de perforación y voladura banco 4672 proyecto 18 .....	61
Tabla 12. Parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 03 .....	65
Tabla 13. Parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 18 .....	68
Tabla 14. Estado situacional - parámetros generales de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672 .....	70
Tabla 15. Estado situacional – costo de voladura de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672 .....	70
Tabla 16. Estado situacional – costo de la perforación de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672.....	71
Tabla 17. Estado situacional - costo de perforación y voladura (\$/t) de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672.....	71
Tabla 18. Parámetros generales del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 .....	72
Tabla 19. Costo de la voladura del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.....	72

Tabla 20. Costo de la perforación del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 .....	72
Tabla 21. Costo de perforación y voladura (\$/TN R) del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.....	72



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera Utunsa .....	22
Figura 2. Geología local de la unidad minera Utunsa .....	25
Figura 3. Alteración y control estructural de la unidad minera Utunsa .....	26
Figura 4. Distribución de reservas de mineral de la unidad minera Utunsa .....	28
Figura 5. Componentes de configuraciones de banco .....	32
Figura 6. Definición de contragolpe y ángulo efectivo de la cara del banco .....	33
Figura 7. Esquema de la longitud de taladro .....	36
Figura 8. Esquema de taco en un taladro.....	38
Figura 9. Esquema de altura de banco.....	39
Figura 10. Plan de minado anual de la unidad minera Utunsa.....	49
Figura 11. Perforación en el banco 4672.....	51
Figura 12. Área del banco 4672 .....	51
Figura 13. Clasificación geotecnia del RMR, ROD% y UCS (Mpa).....	52
Figura 14. Esquema del diseño de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional. ....	55
Figura 15. Diseño de malla de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional. ....	56
Figura 16. Esquema del diseño de malla de perforación y voladura banco 4672 proyecto 18. ....	62
Figura 17. Diseño de malla de perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.....	63
Figura 18. Resultado del estado situación del análisis de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 03 .....	65
Figura 19. Estudio del tipo de falla estructural por análisis cinemático del banco 4672 proyecto 18 .....	66
Figura 20. Análisis de estabilidad del banco 4672 proyecto 18 .....	67
Figura 21. Resultado de la mejora de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 18 .....	68
Figura 22. Análisis de estabilidad en general del proyecto unidad minera Utunsa.....	69

## RESUMEN

En la unidad minera Utunsa de la compañía minera Aruntani ubicada en Apurímac se ha observado diversas deficiencias en las actividades de la perforación y voladura. La estabilidad de los taludes está siendo afectada por la vibración de la voladura del banco y a su vez está generando una mala fragmentación de la roca, aumentando así el consumo de los explosivos, debido al diseño inadecuado de la malla de perforación y voladura. Ante esta problemática se ha propuesto diseñar la malla de perforación y voladura para el banco 4672, proyecto 18 y así mejorar la estabilidad del banco como y reducir el costo total por tonelada de roca.

La zonificación, según el mapeo geotécnico del banco 4672 del proyecto 18, presenta el tipo roca de dureza media, según el cual es importante evaluar la secuencia de salida y aprovechar la energía del explosivo. Esto ayudará a mejorar la granulometría minimizando el daño del talud.

El antiguo diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional, presentó muchas deficiencias como: la fragmentación inadecuada del mineral tras el disparo, el mal alineamiento de taladros, generación de taladros tapados y movimientos innecesarios en el traslado del equipo de perforación.

El desarrollo del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 se realizó con ayuda del modelo matemático de R. L. Ash, obteniéndose un *burden* práctico de 5.6 metros y un espaciamiento es de 6.5 metros, con 119 taladros de producción. El consumo de explosivos por cada taladro de producción es de 233 kilos de Heavy Anfo (HA-55) y 9 taladros de precorte. El uso de explosivos por cada taladro de precorte es de 79 kilos de Heavy Anfo (HA-55), a fin de mejorar la estabilidad del banco tras el disparo por medio de controles como el alineamiento de los taladros, control de los taladros tapados y el control del traslado del equipo de perforación.

**Palabras clave:** diseño de la malla de perforación y voladura en tajo abierto.

## ABSTRACT

At the Utunsa mining unit of Compañía Minera Aruntani, located in Apurímac, there are deficiencies in drilling and blasting activities. The stability of the slopes is being affected by the vibration of the bench blasting and in turn are generating a bad fragmentation of the rock, thus increasing the consumption of explosives due to the inadequate design of the drilling and blasting mesh. In view of this problem, it has been proposed to design the drilling and blasting mesh for Bench 4672, Project 18 and thus improve the stability of the bench and reduce the total cost per ton of broken rock.

The zoning according to the geotechnical bench mapping of bench 4672 of project 18, presents the medium hardness rock type, according to this geotechnical mapping it is important to evaluate the exit sequence and take advantage of the energy of the explosive, this will help to improve the granulometry minimizing the slope damage.

The old design of the drill and blast mesh of Bench 4672, in the situational state had many deficiencies such as: inadequate fragmentation of the ore after firing, poor alignment of drill holes, generation of plugged holes and unnecessary movements in the transfer of drilling equipment.

The development of the equilateral triangular mesh design of the drilling and blasting of Bank 4672 project 18, was carried out with the help of the mathematical model of R. L. Ash, obtaining a practical Burden of 5.6 meters and a spacing of 6.5 meters, with 119 production drill holes, the explosive consumption per production drill hole is 233 kilos of Heavy Anfo (HA-55), and 9 pre-cutting drill holes, the explosive use per pre-cutting drill hole is 79 kilos of Heavy Anfo (HA-55), in order to improve the stability of the bench after firing, by means of controls such as the alignment of the drill holes, control of plugged holes and control of the transfer of the drilling equipment.

**Key words:** drilling and blasting mesh design in open pit.

## INTRODUCCIÓN

En la unidad minera Utunsa de la compañía minera Aruntani ubicada en Apurímac se ha observado diversas deficiencias en las actividades de la perforación y voladura. La estabilidad de los taludes está siendo afectada por la vibración de la voladura del banco y a su vez está generando una mala fragmentación de la roca, aumentando así el consumo de los explosivos, debido al diseño inadecuado de la malla de perforación y voladura. Ante esta problemática se ha propuesto diseñar la malla de perforación y voladura para el banco 4672, proyecto 18 y así mejorar la estabilidad del banco como y reducir el costo total por tonelada de rota.

El antiguo diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional, presentó muchas deficiencias como: la fragmentación inadecuada del mineral tras el disparo, el mal alineamiento de taladros, generación de taladros tapados y movimientos innecesarios en el traslado del equipo de perforación.

El desarrollo del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 se realizó con ayuda del modelo matemático de R. L. Ash, obteniéndose un *burden* práctico de 5.6 metros y un espaciamiento es de 6.5 metros, con 119 taladros de producción. El consumo de explosivos por cada taladro de producción es de 233 kilos de Heavy Anfo (HA-55) y 9 taladros de precorte. El uso de explosivos por cada taladro de precorte es de 79 kilos de Heavy Anfo (HA-55), a fin de mejorar la estabilidad del banco tras el disparo por medio de controles como el alineamiento de los taladros, control de los taladros tapados y el control del traslado del equipo de perforación.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

A nivel mundial, en toda empresa minera a tajo abierto, se cuenta con principales operaciones unitarias dentro del ciclo de minado. En minería atajo abierto son: la perforación, voladura, carguío, acarreo y transporte. Dentro del ciclo de minado, en minería a tajo abierto existen dos operaciones unitarias de mayor importancia que dependen de su eficiencia para que el ciclo de minado sea lo más eficiente posible, estas son la de perforación y voladura, ya que están asociadas rectamente a la productividad de la empresa minera. Al obtener un buen disparo, la granulometría del mineral será manejable para el carguío, acarreo y transporte evitando pérdidas económicas por trabajos secundarios en cada operación de estas.

Ante esto, las empresas mineras a tajo abierto, generalmente, elaboran con el área de Planeamiento y Geología nuevos diseños de mallas de perforación y voladura a fin de optimizar evaluando parámetros y factores de perforación y voladura para su mejora continua.

En la unidad minera Utunsa de la compañía minera Aruntani ubicada en Apurímac se ha observado diversas deficiencias en las actividades de la perforación y voladura. La estabilidad de los taludes está siendo afectada por la vibración de la voladura del banco y a su vez está generando una mala fragmentación de la roca, aumentando así el consumo de los explosivos, debido al diseño inadecuado de la malla de perforación

y voladura. Ante esta problemática se ha propuesto diseñar la malla de perforación y voladura para el banco 4672, proyecto 18 y así mejorar la estabilidad del banco como y reducir el costo total por tonelada de rota.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1. Problema general**

¿De qué manera influirá el diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa?

### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera influirá el control del proceso de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa?
- ¿De qué manera influirá el diseño de malla de perforación y voladura para mejorar el costo por tonelada rota en la unidad minera Utunsa?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Diseñar la malla de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Controlar el proceso de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.
- Diseñar la malla de perforación y voladura para mejorar el costo por tonelada rota en la unidad minera Utunsa.

## **1.3 Justificación e Importancia**

### **1.3.1 Justificación practica**

En la minería superficial, la operación unitaria de mayor impacto en el ciclo de minado es la perforación y voladura, debido a que su correcta planificación y ejecución tiene un impacto significativo en los demás procesos posteriores como carguío, acarreo y transporte; como resultado, este proceso siempre está bajo supervisión para

la mejora continua, para ello en el mercado existen varios programas y software para la optimización de la perforación y voladura que ayudaran a los ingenieros en este esfuerzo. Esta investigación se lleva a cabo con el objetivo de agregar al conocimiento existente sobre el diseño de malla y su uso para reducir el daño en los taludes finales, por tal motivo la presente investigación propone diseñar la malla de perforación y voladura para reducir el daño de los taludes y reducir el costo por tonelada rota en el banco 4672 proyecto 18.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis general**

El diseño de malla de perforación y voladura es factible y viable para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- El control del proceso de perforación y voladura es viable para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.
- El diseño de malla de perforación y voladura es viable para mejorar el costo por tonelada rota en la unidad minera Utunsa.

## **1.5 Identificación de las variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Diseño de malla de perforación y voladura

### **1.5.2 Variable dependiente**

Mejorar la estabilidad de taludes.

### 1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. *Matriz de operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
V.I.: Diseño de malla de perforación y voladura	<p>Es la mejora de los factores y parámetros de perforación y voladura, analizando las deficiencias de las perforación y voladura, analizando el ciclo de minado, donde se extrae el mineral, mediante el uso de explosivos.</p> <p>Una correcta utilización de estos, junto con un adecuado diseño, nos permite realizar una voladura con el menor costo, y con la mayor seguridad.</p>	RMR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema del macizo rocoso</li> <li>• Tipo de roca</li> </ul>
		Control de parámetros de perforación y voladura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Burden (m)</li> <li>• Espaciamiento (m)</li> <li>• Metros perforados (m)</li> <li>• Consumo de aceros de perforación (unid.)</li> <li>• Longitud de perforación (m)</li> </ul>
V.D.: Mejorar la estabilidad de taludes	<p>Es la minimización de la inestabilidad de taludes, por medio del estudio de las características geotécnicas y estructurales, aplicadas en el diseño de malla de perforación y voladura, tras una evaluación de los factores críticos, que determinarán el modo potencial de falla, que puede presentar cada uno de los bancos.</p> <p>Una vez que se han identificado y cuantificado las fallas, los diseños se basan en un cierto nivel de aceptabilidad, que se definirá de acuerdo con las políticas y normas de la empresa.</p>	Control de la fragmentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cm,%</li> </ul>
		Factor de potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kg explosivo / m<sup>3</sup> mineral (kg/m<sup>3</sup>)</li> </ul>
		Factor de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kg explosivo / t mineral (kg/t)</li> </ul>



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales**

a) Tesis titulada: «*Diseño de perforación voladura de pre-corte mediante las características de macizo rocoso para evitar desprendimiento de bolones de la pared en bancos de producción en U.M. TACAZA – CIEMSA*». El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada, para diseñar la perforación y voladura de precorte, mediante la determinación de las características geomecánicas del macizo rocoso en banco de producción 4330S - 4325S tajo central en unidad minera Tacaza – CIEMSA (1).

Además, la metodología tiene las siguientes características (1):

- Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso en banco de producción 4330S - 4325S tajo central en unidad minera Tacaza – CIEMSA”, “Diseñar la perforación y voladura de precorte para evitar el desprendimiento de bolones de la pared en banco de producción 4330S - 4325S tajo central en Unidad Minera Tacaza – CIEMSA (1).
  
- Las características geomecánicas del macizo rocoso en banco de producción 4330S - 4325S tajo central en unidad minera Tacaza – CIEMSA. Los resultados de las pruebas de laboratorio indican que tiene una RCU de 66.41 MPa, RQD 86 % en la escala propuesta por Bieniawski 1989. Es una roca ígnea de tipo andesita porfirítica, de calidad buena con

RMR básico de 65, considerando el objetivo de diseñar la perforación y voladura de precorte, para evitar el desprendimiento de bolones de la pared en banco de producción 4330S - 4325S tajo central, en unidad minera Tacaza – CIEMSA (1).

- Para una roca de tipo andesita porfirítica de calidad buena RMR 65, se tiene, el área del taladro de 9.62 pulgadas, longitud de carga explosiva de 4 m, ANFO de densidad 0.80 (gr/cm<sup>3</sup>), taco de 1.00 m, altura del banco de 5.00 m, sobre perforación (sub – drilling) de 0.5 m (esporádico), la carga explosiva es 31 kg por taladro, calculado según propuestas en 13 taladros, el consumo de explosivo es de 403 kg, los resultados de prueba con carga explosiva con examen P en 13 taladros en banco de producción 4330S - 4325S. RMR 65, es de 405.1 kg/tal, con un promedio por taladro de 31.16 kg/tal. Existe una diferencia de 2.01 kilogramos de ANFO, los resultados de voladura de precorte han sido satisfactorios (1).

b) Tesis titulada: «Análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, y su incidencia en el rendimiento de los equipos de carguío bajo el concepto mine to mill, en una mina a tajo abierto - 2021». El objetivo del estudio es mejorar el rendimiento de los equipos de carguío, mediante el análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, bajo el concepto mine to mill, en una mina a tajo abierto – 2021. (2). Además, la metodología tiene las siguientes características: (2)

- Para la relación granulométrica post voladura en las diferentes litologías se analizaron en 2 periodos de julio a diciembre del 2020 y de enero a junio del 2021. Este análisis de la granulometría por litología y alteración hidrotermal condujeron a un análisis de mayor detalle por el comportamiento que asocia las variables de perforación y voladura como factor de potencia, dureza y la granulometría (2).
- La granulometría asociada a las diferentes litologías y alteraciones presentes durante el periodo julio a diciembre del 2020, fue de 2.45 pulgadas, siendo la granulometría para el periodo enero a junio del 2021

de 2.41 pulgadas Esta menor granulometría en 0.04 pulgadas tiene una incidencia directa en el dig rate o tasa de excavación, mejorando directamente las toneladas/hora de mineral cargado y transportado hacia chancadora o zona de stock (2).

- En el análisis del *dig rate* asociado a las diferentes litologías con su alteración hidrotermal correspondiente se observa una mejora durante el periodo 2021 en referencia al periodo 2020. Durante el periodo julio a diciembre del 2020 se generó un dig rate de 10,289.62 t/h considerando una mejora durante el periodo de enero a junio en 11,432.28 t/h. Esta mejora en el dig rate en 1,142.66 t/h, está muy relacionada a los parámetros de granulometría, dureza y factor de potencia, mejorando directamente en el rendimiento de los equipos de carguío y una mejor gestión operacional en las áreas mina a planta (mine to mill) (2).

c) Tesis titulada: «*Modelamiento y diseño de malla de perforación para controlar la dilución, en tajos de producción en una mina a cielo abierto 2021*». El objetivo del estudio es realizar un control de la dilución en los tajos de producción durante la explotación de un yacimiento de alta sulfuración a *open pit*, al realizar ensayos geomecánicos con su respectivo diseño de malla para realizar la carga correspondiente de explosivos (3).

Además, la metodología tiene las siguientes características (3):

- En la explotación de minas, específicamente en la operación de perforación y voladura, puede presentarse una dilución no controlada a consecuencia de un mal estudio geomecánico y un mal diseño de mallas en bancos (3).
- Obteniendo como primer resultado, realizados en el laboratorio geomecánico, los valores a cuáles fueron sometidos las muestras encontradas en el primer punto, determinando los parámetros a los cuales nos regiremos, para realizar el proceso de P & V, y poder tener un control de dilución y granulometría (3).

d) Tesis titulada: «*Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA)*». El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada para optimizar la fragmentación de rocas aplicando el modelo matemático de Pearse en el diseño de mallas de perforación y voladura en los bancos de mineral del tajo Tacaza. (4).

Además, la metodología tiene las siguientes características: (4)

- Se concluye que los diseños de malla actuales no son favorables para la fragmentación de rocas, ya que son los parámetros controlables como burden, espaciamiento, longitud de taco, sobre perforación y secuencia de detonación han sido calculados de forma empírica, en base a criterios adoptados de otras minas de cobre del Perú, que difieren en propiedades físicas y calidad de roca del macizo rocoso del tajo Tacaza. (4).
- Esto conllevó a obtener un mayor rendimiento de los equipos de carguío y transporte, disminuyendo los costos de minado en un -11.6 % (- 9,649 US\$/mes). (4).

e) Tesis titulada: «*Grado de desempeño de los Parámetros de Voladura, para mejorar la calidad operacional, en la Unidad Minera La Virgen – Huamachuco*». El objetivo del estudio es aportar una metodología experimental apropiada, para determinar el desempeño y grado de precisión de los parámetros de voladura que nos permiten mejorar esta operación unitaria en Empresa Minera San Simón, unidad minera La Virgen (5).

Además, la metodología tiene las siguientes características: (5).

- Con el control de calidad operacional, de tener un taco inicial promedio mínimo de 3.20 m y máximo de 4.80 m, se logró obtener un taco promedio mínimo de 3.90 m y un máximo de 4.30 m, la variación de la precisión de taco final en el tiempo es positivo, de tener 42 % de precisión en el mes de mayo, se obtuvo 95 % en el mes de noviembre (5).

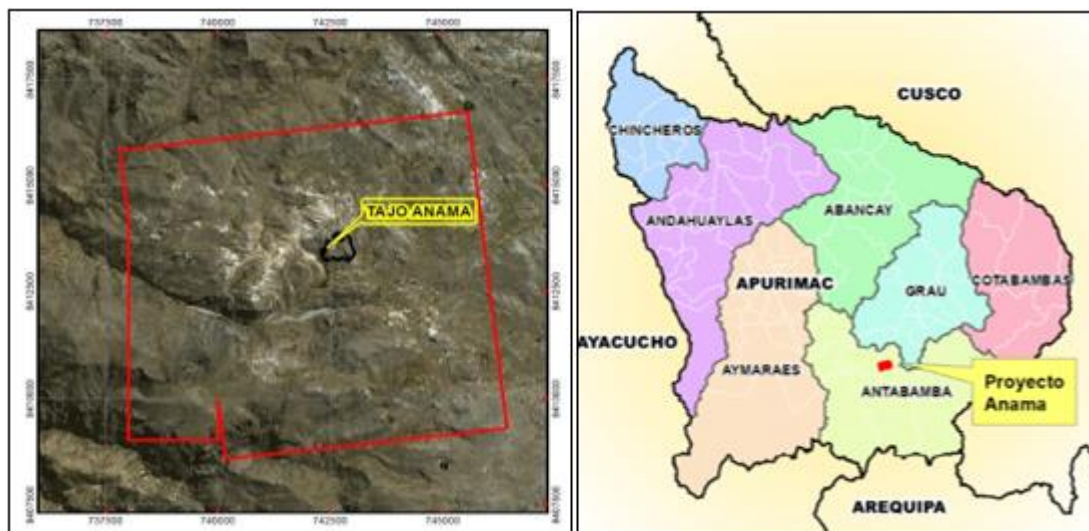
- El porcentaje mínimo de precisión en la perforación en el mes de marzo fue 76 % con una altura de taladro de 8 m, para el mes de noviembre existe una variación positiva alcanzando un 97% esto con una altura de taladro de 12 m (5).
- La densidad del SAN-G APU en la mezcla HA\_73G, están en el orden de 1.05 g/cm<sup>3</sup> y 1.13 g/cm<sup>3</sup> con gasificación de 20 minutos, valores donde el explosivo alcanza su mayor desempeño como se pudo demostrar en los resultados obtenidos en el monitoreo de VOD (5).
- Con el uso de la SAN-G APU en la mezcla HA\_73G se obtuvo un VOD máximo de 5305.83 m/s, esto permite obtener una presión de detonación y potencia del explosivo más alta, el cual conlleva a mejorar la fragmentación de roca (5).

## **2.2 Generalidades de la unidad minera Utunsa**

### **Ubicación y accesibilidad**

La unidad minera Utunsa se encuentra en los parajes de los cerros Japutani – Chicorone, del distrito de Huaquirca, provincia de Antabamba, departamento de Apurímac, entre las coordenadas 738 373 E, 8 416 300 N y 745 464 E, 8410280 N, UTM (WGS 84, zona 18S), con una altitud promedio entre 4 600 a 4 800 msnm (6).

En la figura, se muestra la ubicación de la unidad minera Utunsa



**Figura 1. Ubicación de la unidad minera Utunsa**  
*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

La accesibilidad desde el departamento de Lima a la unidad minera Utunsa, se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Ubicación y accesibilidad de la unidad minera Utunsa**

Ruta	Distancia (km)	Tipo de vía	Tiempo Aproximado (h)
Lima - Ica	305	Asfaltado	4.11 horas.
Ica – Unidad Minera Utunsa.	777	Asfaltada y afirmada	17.28 horas.
TOTAL	1082		21.39 horas

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

## Geología

### 2.2.1.1. Geología regional

La base de la estratigrafía regional comprende sedimentos del Jurásico Superior a Cretáceo Inferior correspondiente al grupo Yura y este es dividido en tres formaciones: formación Piste, formación Chuquibambilla y formación Soraya (6).

Las calizas de la formación Ferrobamba del Albiano-Cenomaniano sobreyacen a los sedimentos precedentes. Sedimentos clásticos de origen

continental del grupo Puno perteneciente al Terciario inferior (paleógeno) se encuentra sobre los sedimentos del Cretáceo (6).

Los volcánicos jóvenes del Plioceno al Cuaternario completan la secuencia con los volcánicos posts Tacaza (Cerro Cullimayoc), Sencca, Grupo Barroso y Santo Tomás. Intrusivos de diferentes naturalezas, tales como granodiorita, tonalita, monzonita y diorita del Cretáceo Superior al Terciario correspondientes al batolito de Apurímac se localizan al norte de la propiedad en la unidad minera Utunsa. Intrusiones de stocks hipabisales del mioceno también están presentes (6).

### **2.2.1.2. Geología local**

#### **a) Litología**

La litología de la zona donde se asienta la zona de interés de la unidad minera Utunsa está compuesta por rocas dacítica con comportamiento de domos y tufos en contacto con rocas andesíticas (también con comportamiento de domos y tufos), se cree que las rocas andesíticas podrían ser posteriores y habrían generado permeabilidad secundaria en las rocas preexistentes, favorable para cualquier evento mineralizante posterior (6).

#### **b) Rocas volcánicas**

- **Tufos dacíticos**

De composición tufo fino, tufo clástico y tufo de cristales, a estas rocas se les puede reconocer por la presencia de ojos de cuarzo en su matriz. Estos tufos presentan una estratificación sesgada debido a la erosión contemporánea, presentan una buena porosidad, hallándose muy receptivos a cualquier tipo de fluido mineralizante, y han sido instruidos por intrusivos subvolcánicos (6).

- **Tufos andesíticos**

Posiblemente estos tufos sean singenéticos con los domos andesíticos, es decir forman parte de su fase explosiva; en la zona se encuentran rodeando al intrusivo subvolcánico (domo andesítico), presentan una coloración gris-verdosa a violácea con un grano que varía de fino a medio de textura porfirítica, sus principales constituyentes son horblendas y plagioclasas, en algunos casos presentan clastos del domo andesítico de diferentes tamaños, lo que nos indica el evento explosivo del domo (6).

- **Tufo clástico**

Presentan textura porfirítica con fragmentos líticos de tamaño lapilli, correspondientes a tufos andesíticos porfiríticos de coloraciones marrón verdosos y violáceos; presentan alteración propilítica débil, a estos los encontramos a unos 50 m. del sector Este de la concesión, con extensión hacia el Norte y Sur (6).

- **Tufos finos**

De grano fino y coloración gris verdosa, se presentan formando sub-horizontes con intercalaciones de tufo fino de color blanquecino con textura porfirítica, encontrándose en algunas áreas argilizadas y propilitizadas, en otros casos casi frescos. Estos tufos afloran al norte de la concesión, extendiéndose aún más al norte (6).

### **c) Intrusivos hipabisales**

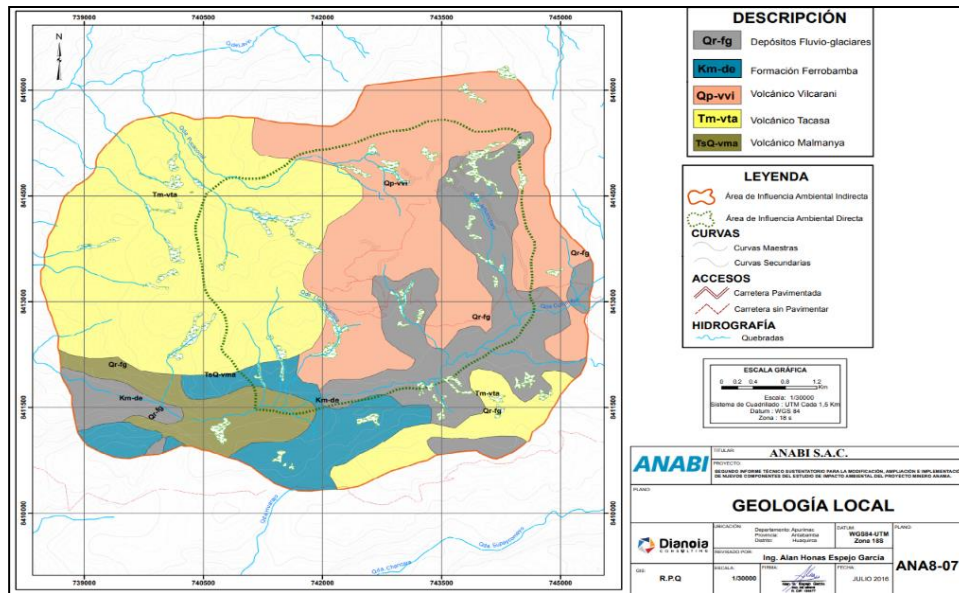
- **Domo andesítico**

Por las condiciones geológicas que se puede apreciar en superficie, la zona donde se asienta en la unidad minera Utunsa ha sufrido una serie de pulsaciones producto de la reactivación de cámaras magmáticas más profundas y las cámaras intermedias por calor, las mismas que han dado como resultado la ascensión de intrusivos subvolcánicos (domos) en estado seco, del tipo andesítico y dacítico, de textura porfirítica, de coloración gris verdosa, gris oscura y amarillenta, en su mayoría frescos a débilmente propilitizados en sus bordes, éstos han intruído a las rocas preexistentes (6).

- **Domo dacítico.**

Hacia el sector norte del tajo en contacto directo con los tufos dacíticos y la roca andesítica, se observa la presencia de un intrusivo subvolcánico de composición dacítica, éste tiene un emplazamiento casi E-W y debe ser uno de los causantes del fracturamiento y permeabilidad secundaria producidas en el lugar (6).





**Figura 2. Geología local de la unidad minera Utunsa**  
**Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

### 2.2.1.3. Geología estructural

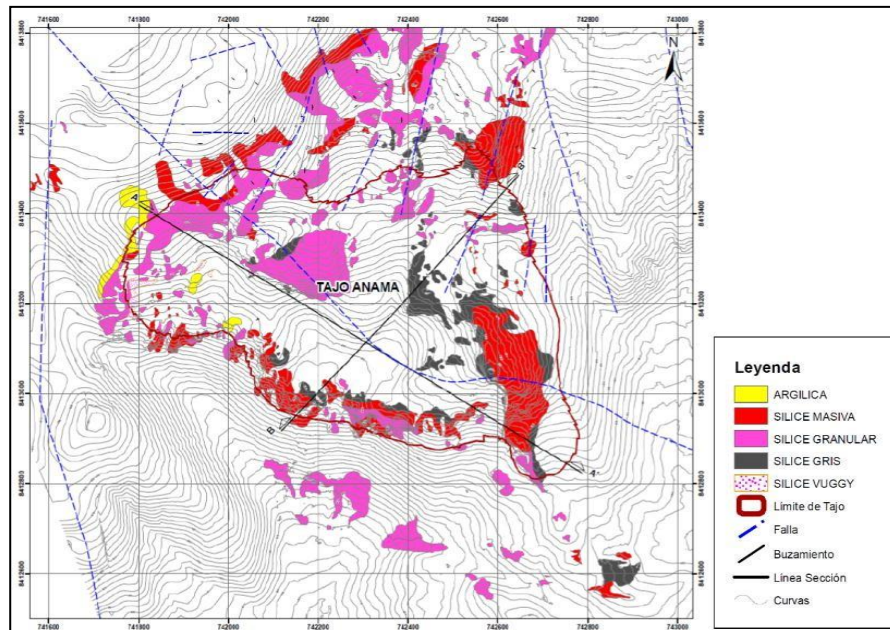
Las áreas se encuentran controlada por una estructura regional de dirección andina NW-SE (N60°W a N70°W) y estructuras de tensión NE (NS a N30°E), que han posibilitado mayor alteración y mineralización en la zona (6).

#### a) Rasgos estructurales regionales

Las estructuras geológicas en la región son muy complejas, las formaciones del Jurásico Superior y Cretáceo Inferior están fuertemente plegadas y falladas, las unidades más jóvenes como las secuencias volcánicas del grupo Tacaza se encuentran cortadas por numerosas estructuras de dirección NO-SE (6).

#### b) Rasgos estructurales locales

Existe una falla de carácter regional que cruza el sector sur de la concesión de la unidad minera Utunsa de orientación andina (N60°W a N70° W) con buzamientos de alto ángulo. Esta falla desplaza horizontalmente (falla de rumbo) y verticalmente (falla normal) a los volcánicos del grupo Tacaza y formaciones antiguas (Ferrobamba, Mara, Soraya, etc.) (6).



**Figura 3. Alteración y control estructural de la unidad minera Utunsa Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

#### 2.2.1.4. Geología económica

##### a) Ocurrencia de mineralización

En la unidad minera Utunsa, el tipo de ocurrencia de la mineralización es diseminado de oro; esto desde el nivel superior (contacto domo dacítico y tufos de la misma composición) ubicado en el sector NE del tajo, que es el nivel más superior de la zona de interés (de más altas cotas), como en los subsiguientes niveles (6).

En el contacto entre los tufos dacíticos, andesíticos y el domo dacítico, se encuentra el nivel intermedio. Este nivel es el más importante por su potencial mineralógico, está compuesto principalmente por óxidos de hierro con (lim, hem, goeth) en aproximadamente un 20 a 25 %, que se alojan en las fracturas y oquedades de la roca que conforman, estando los óxidos bastante relacionados con las leyes más altas de oro; tiene una potencia en vertical aproximada de 90 a 100 m. y abarca toda la superficie de la zona del tajo (6).

Las pequeñas fallas tensionales NE (N-S a N 30°E), también han servido de conductos ascendentes de fluidos mineralizantes y sus zonas de influencia se encuentran con evidente silicificación masiva, granular y vuggy, cortada por un enjambre de venillas de sílice gris. Estos fluidos tardíos con sílice gris, los que

reportan los mejores valores de Au y cortan a todos los demás eventos litológicos, de alteración y mineralógico (6).

En el nivel intermedio, el más importante económicamente hablando, existe una brecha mineralizada de origen hidrotermal con clastos subangulosos y silicificadas, enriquecida con óxidos de hierro (lim, Hm, Goeth) en la matriz en aproximadamente 20 a 25 %, se ubica en la zona del tajo, y se emplaza con una dirección N60°W – S60°E, con una potencia en la horizontal que oscila entre los 100 y 120 metros, y una longitud aproximada de 400 m esta estructura se caracteriza por contener valores sobresalientes en oro (6).

#### **2.2.1.5. Reservas minerales**

##### **a) Tipo de mineral**

Como se indicó anteriormente, el yacimiento corresponde a un depósito aurífero de tipo epitermal de alta sulfuración, con mineralización económica de oro de tipo diseminado (de baja ley), emplazado en formaciones volcánicas cenozoicas, principalmente andesíticas y dacítica, que a su vez han sido fuertemente alteradas, presentando asimismo suficiente permeabilidad y porosidad (6).

La alteración dominante a la que se asocia con mayor rigor los contenidos de oro corresponde a alteración sílica; dichos contenidos se asocian asimismo a la ocurrencia de halos de oxidación supergénica principalmente óxidos de Fe (hematita, jarosita) y otros. Configurando de este modo que el tipo de mineral a explotar y tratar corresponde básicamente a la zona de óxidos, es decir la zona emergida (elevada) superpuesta al nivel freático respectivo (6).

##### **b) Detalles de las reservas minerales**

El proyecto estudio cuenta con una reserva total de 35'000,000 t de mineral extraíble con ley promedio de 0,37 g/t de Au y un total de desmonte de 14'000,000 t, los que son llevados tanto al Pad (mineral económico) o a los botaderos de desmonte 1 y 2, según el caso. La relación desmonte a mineral es de 0.4. (6).

**Tabla 3. Reserva total de mineral y desmonte**

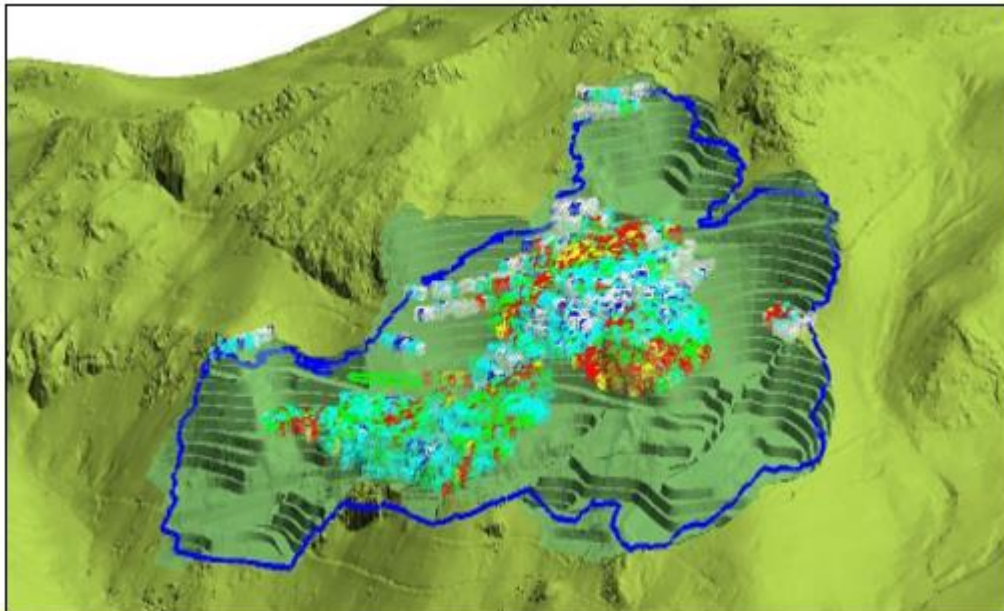
MINERAL t	DESMONTE t	S.R.	LEY Au - GR/t
35,000,000	14,000,000	0.4	0.37

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

**Tabla 4. Reserva de mineral y desmonte del banco 4672 – tajo**

BANCO	MINERAL t	DESMONTE t	S.R.	LEY Au - GR/t
4624	3,280,462	915,922	0.4	0.36

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*



**Figura 4. Distribución de reservas de mineral de la unidad minera Utunsa**  
*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

## 2.3 Bases teóricas

### 2.3.1. Análisis del método de diseño de taludes

Para gestionar la cantidad de explosivo detonado debido a que el retardo y las estrategias de voladura controlada, por ejemplo, el impacto suave o el impacto pre partido (smooth-blasting o el pre-split blasting) son métodos posibles que pueden usarse para reducir el daño causado por la voladura (7); sin embargo, no es posible eliminar por completo este daño, y generalmente es necesario

encontrar un equilibrio entre la fragmentación de la roca para facilitar el transporte y dejar la roca del tajo en los taludes lo más intacta posible; por esta razón cuando la explotación llega a los taludes finales, es necesario controlar mejor este aspecto, utilizando mejores diseños de mallas de perforación y voladura desarrollando prácticas adecuadas de voladura (7),

#### **a) Secuencia del diseño de taludes**

El diseño de los taludes se basa en criterios de análisis de los módulos en el que se detallan las afectaciones del talud en el banco en los trabajos del interrampa y globales (7).

- El proceso comienza con la división del modelo geotécnico del área de trabajo propuesta en términos de las características geotécnicas, propiedades estructurales y propiedades de los materiales (7). Las características de cada dominio pueden usarse para establecer el enfoque de un diseño básico (7). Esto implica necesariamente evaluar los factores críticos que determinarán la(s) modalidad(es) de falla potencial(es) en las escalas respectivas (banco, inter - rampa, global) contra lo(s) cual(es) se diseñarán los elementos del talud (7).
- En cada dominio se evalúan los posibles modos de falla y los diseños se basan en los niveles de aceptación requeridos frente a la inestabilidad según lo definido por la política de la empresa, los estándares industriales o los requisitos reglamentarios (7).
- Cuando se espera que la estructura sea un elemento de control, la orientación de la lengüeta puede tener un impacto en los criterios de diseño (7). "En este caso, normalmente se requiere una subdivisión adicional de un dominio en sectores de diseño, basada en consideraciones cinemáticas relacionadas con el potencial de socavar estructuras (planas) o combinación (cuñas), o derribar las características de control" (7).
- Si la sectorización puede reflejar controles en todos los niveles, desde el nivel del banco, donde la tela proporciona el control principal para los ángulos del

banco, hasta el nivel general, donde se puede esperar que una estructura específica influya en un rango de orientaciones de talud dentro de un dominio (7).

- Si se espera que el esfuerzo del rocoso macizo sea el factor controlador para la estabilidad de la salud, el proceso de diseño debe comenzar con un análisis para establecer la salud general y las angularidades entre rampas (7).
- En las regiones angulares donde se cumplen los criterios de aceptación, se deben escalar las configuraciones de los bancos (7). Las combinaciones de bancos proporcionan la pendiente entre rampas, que simplemente pueden representar la altura entre las rampas de acceso en el tajo (7).
- En los tajos más grandes con taludes más altas, el diseñador de taludes puede optar por proporcionar más flexibilidad o estabilidad incorporando bermas geotécnicas más amplias (bermas de gestión de riesgos) en intervalos de altura prescritos en la pared (7).
- Las bermas de gestión de riesgos se utilizan con frecuencia para garantizar el acceso a la pendiente para el control de las aguas superficiales, la limpieza y la instalación de pozos de drenaje o instalaciones de monitoreo (7).
- Los ángulos entre rampas normalmente se proporcionan a los planificadores de minas como criterios básicos de diseño para colgantes en el área de planificación (7). Como resultado, para el diseño inicial de la mina y el trabajo de evaluación, se puede utilizar un ángulo de inclinación general que incluya el ángulo entre rampas, aplanado de 2 a 3 grados para dar cuenta de las rampas (7).

## **b) Evaluación del diseño de taludes**

Análisis de equilibrio límite aplicado a:

- En las Fallas controladas estructuralmente en el diseño de banco e ínter-rampa, taludes interrampa y globales donde la estabilidad es controlada por la fuerza del macizo rocoso, con o sin anisotropía estructural, análisis

numérico utilizando métodos de elementos finitos y de elementos distintos para la evaluación y/o el diseño del talud interrampa y del talud global (7).

- El análisis de estabilidad de taludes puede servir como base para una evaluación de riesgos que incluya factores atenuantes para lograr niveles de riesgo aceptables en términos de seguridad y economía (7).

### **c) Evaluación cinemática**

#### **➤ Banco**

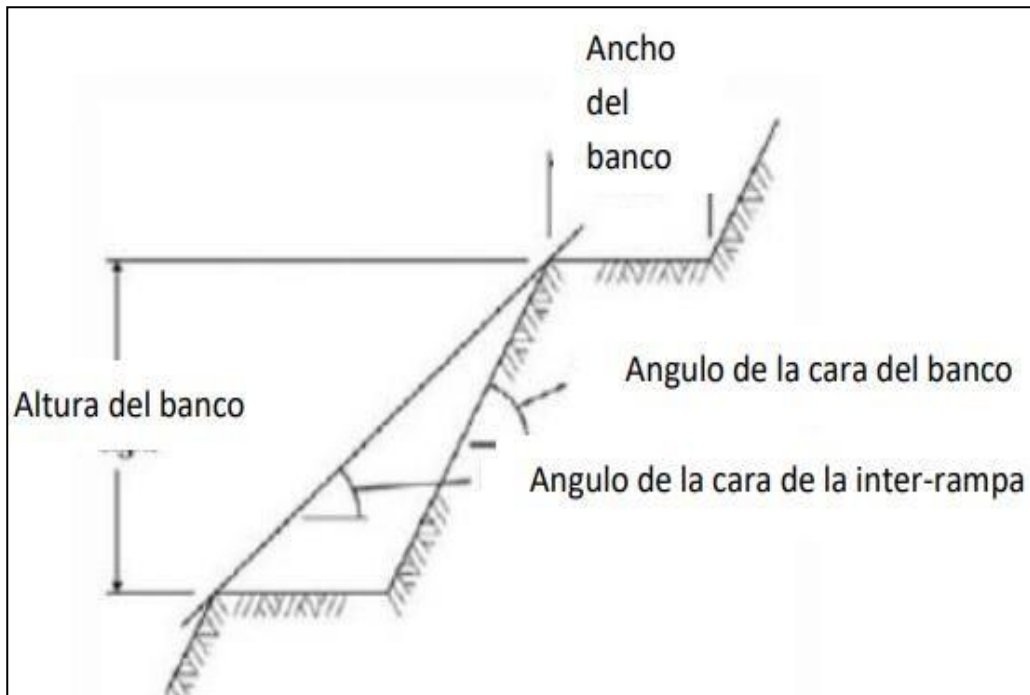
La confianza requiere caras y crestas bancarias seguras. Los criterios primarios que afectan la estabilidad de las caras y crestas del banco son la geometría de las juntas y su resistencia al corte (7).

- **Seguridad:** requiere anchos de banco suficientes para detener y reducir el peligro de las rocas y contener cualquier derrame de los bancos anteriores (7).

Acceso a largo plazo a lo largo de los bancos para los operadores implicados en actividades tales como el monitoreo de talud y la limpieza de la roca y el vertido (7).

#### **➤ Altura de banco**

La mayoría de las veces, las alturas de los taludes oscilan entre los 10 y los 18 metros, que son las más comunes en las minas a cielo abierto (7). Quince metros es quizás el más común, pero la decisión final se toma generalmente por la coincidencia de la altura con la capacidad del equipo de excavación (por ejemplo, cuerda o palas hidráulicas) que se ocupa en la mina (7). El apilamiento de bancos para empinar las pendientes entre rampas es normal cuando la resistencia de la roca y los procedimientos de operación lo permiten (7).



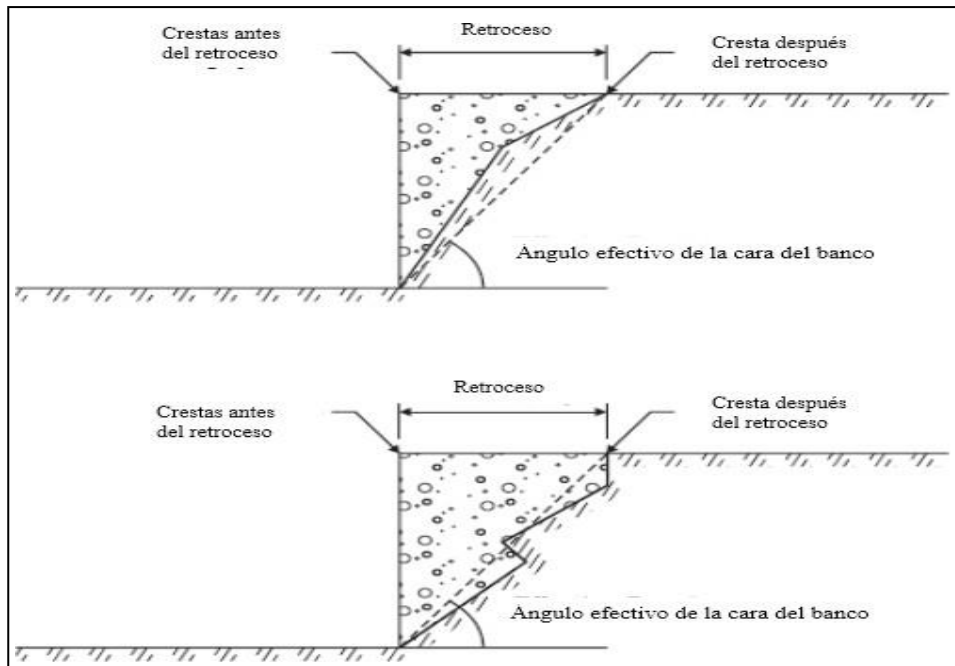
**Figura 5. Componentes de configuraciones de banco**  
*Tomada de Guidelines for Open Pit Slope Design John, Read, 2009 (7)*

➤ **Ancho de banco**

Los bancos deben ser lo suficientemente gruesos para retener rocas potencialmente peligrosas y contener cualquier derrame de los bancos superiores (7). También deben permitir el acceso a largo plazo a elementos como el movimiento de taludes y las estaciones de monitoreo de aguas subterráneas (7). En la mayoría de los casos, el ancho mínimo de diseño del banco se basa sobre una mezcla de la política de la empresa y la experiencia operativa; para alturas de 15 m, rara vez es inferior a 7 m (7).

Cuando hay caídas y desprendimientos de rocas, el paso final en el proceso de diseño se basa en la probabilidad de alcanzar la profundidad del banco de diseño. Incluso con un buen control de voladuras y excavaciones, la experiencia demuestra que un ancho de banco específico rara vez se puede lograr con un 100 % de confianza (7). El ancho que se puede alcanzar en realidad, se controla por la cantidad de retrocesos que se produce a lo largo de la cresta a medida que se excava el banco, la cantidad de retrocesos se controla por las mismas características que controlan el ángulo efectivo de la cara del banco (7).





**Figura 6. Definición de contragolpe y ángulo efectivo de la cara del banco**  
 Tomada de *Guidelines for Open Pit Slope Design* John, Read, 2009 (7)

### ➤ Análisis del ángulo de cara de banco

La estabilidad estructural está controlada por una serie de factores, que incluyen:

- La orientación direccional de la cara del banco.
- La cantidad que se acumuló a medida que se excavaba el banco.
- Daño por explosión en la resistencia del corte.
- Fracturas provocadas por explosiones en la cara del banco o en las inmediaciones de la cresta del banco.

La tarea fundamental de diseño es determinar un ángulo de cara que socave el menor número posible de planos, cuñas o bloques formados estructuralmente". (7) "Bajo estas circunstancias, hay un número igual de pistas y ecuaciones, lo que significa que el factor de seguridad puede estimarse utilizando métodos deterministas y estadísticos.

$$FoS = \frac{\tan \phi}{\tan \theta} + \frac{2c \operatorname{sen} \beta}{\gamma H \operatorname{sen} (\beta - \theta)}$$

Dónde:

- **FS** = Factor de Seguridad
- **$\Phi$**  = Ángulo de Fricción
- **C** = Cohesión
- **$\gamma$**  = Peso Unitario del Material
- **$\beta$**  = Ángulo efectivo de la cara del banco
- **$\Theta$**  = Ángulo de inmersión conjunta

Debido a los daños causados por las voladuras y a las tensiones relativamente bajas, la cohesión de las estructuras a menudo se ignora en los análisis a escala de banco (7).

En la escala entre rampas, el análisis busca combinaciones de bloques y cuñas (poliedros) potencialmente inestables en todos los bancos que se apilan en la geometría que se evalúa (7).

### **2.3.2. Diseño de voladura**

#### **a) Variables físicas controlables**

Para el diseño de una voladura debemos comprender todos los conceptos fundamentales para una voladura ideal, con esta definición las variables controlables son (8):

- Diámetro del barreno (8).
- Profundidad del barreno (8).
- Tamaño del taco (8).
- Espaciamiento entre barrenos (8).
- Numero de barrenos por voladura (8).
- Dirección del movimiento de la roca (8).

Además de las dimensiones físicas, también se puede controlar el tiempo de voladura, mencionando:

- Seleccionar retardos para lograr una figura geométrica (8).
- Seleccionar el sistema de iniciación para lograr secuencia apropiadas (8).
- Diseñar un patrón que controle la voladura (8).
- Diseñar los tiempos adecuados para lograr la máxima fragmentación, mínimo golpe de aire, reducción de fly rock y sobre todo el control del talud (8).

## **b) Variables no controlables**

- Geología (8).
- Características de la roca (8).
- Cercanía de las estructuras a escoger (8).

### **2.3.3. Parámetros dimensionales para el diseño de malla**

#### **a) Diámetro de taladro**

La selección del diámetro de taladro es crítica considerando que afecta a las especificaciones de los equipos de perforación, carga y acarreo, también al burden, espaciado distribución de la carga explosiva, granulometría de la fragmentación, tiempo a emplear en la perforación y en general a la eficiencia y economía de toda la operación. Para determinar el diámetro óptimo en la práctica, se consideran tres aspectos:" (8)

- La disponibilidad y aplicabilidad del equipo de perforación en el trabajo proyectado (8).
- La altura de banco proyectada y la amplitud o envergadura de las voladuras a realizar (8).
- La distancia límite de avance proyectado para el banco (8).

El máximo diámetro para adoptar depende de la profundidad del taladro y, recíprocamente, la mínima profundidad a la que puede ser perforado un taladro depende del diámetro, lo que usualmente se expresa con la igualdad: (8)

$$L = 2\emptyset$$

Dónde:

L = la mínima longitud del taladro, en pies (8).

$\emptyset$  = es el diámetro del taladro, en pulgadas (8).

#### **b) Longitud o profundidad del taladro (L)**

La longitud de taladro tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura y es factor determinante en el diámetro, burden y espaciado. Es la suma de altura de banco más la sobre perforación necesaria por debajo del nivel o rasante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos

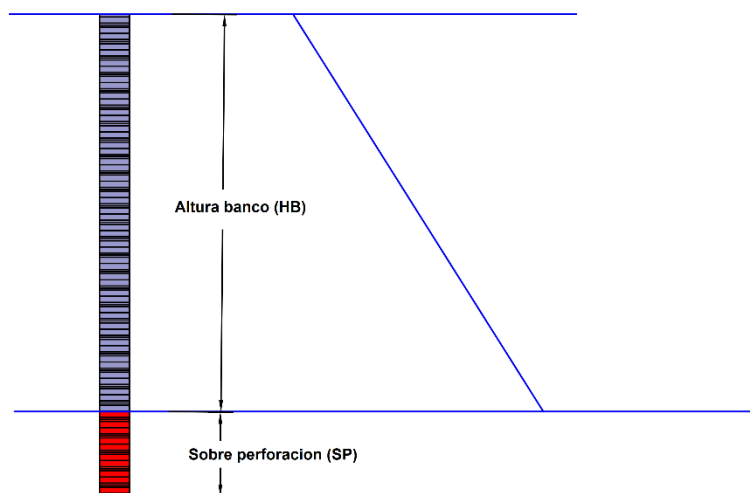
(toes), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por rotura secundaria. Esta sobre perforación debe ser por lo menos de 0.3 veces el valor del burden, portanto: (8)

$$L = H + 0.3 B$$

Dónde:

**H** = altura de banco (8).

**B** =burden (8).



**Figura 7. Esquema de la longitud de taladro**

### c) Sobre perforación (SP)

El Manual de Exsa manifiesta: “tal como se indicó anteriormente es importante en los taladros verticales para mantener la rasante del piso. Si resulta corto normalmente reproducirán lomos, pero si es excesiva se produciría sobre excavación con incremento de vibraciones y de los costos de perforación.” (8). En lo práctico, teniendo en cuenta la resistencia de la roca y el diámetro de taladro, se estimó los siguientes rangos:

$$SP = 0.2 a 0.3 * B$$

Donde:

**SP** = sobre perforación (8).

**B** = burden (m) (8).

La sobre perforación según los diámetros de perforación según el tipo de roca (8).

SP = Roca blanda a media de 10 Ø a 11Ø

SP = Roca dura a muy dura de 12 Ø

También es usual la relación: SP = 0.3 B, en donde B es el burden.

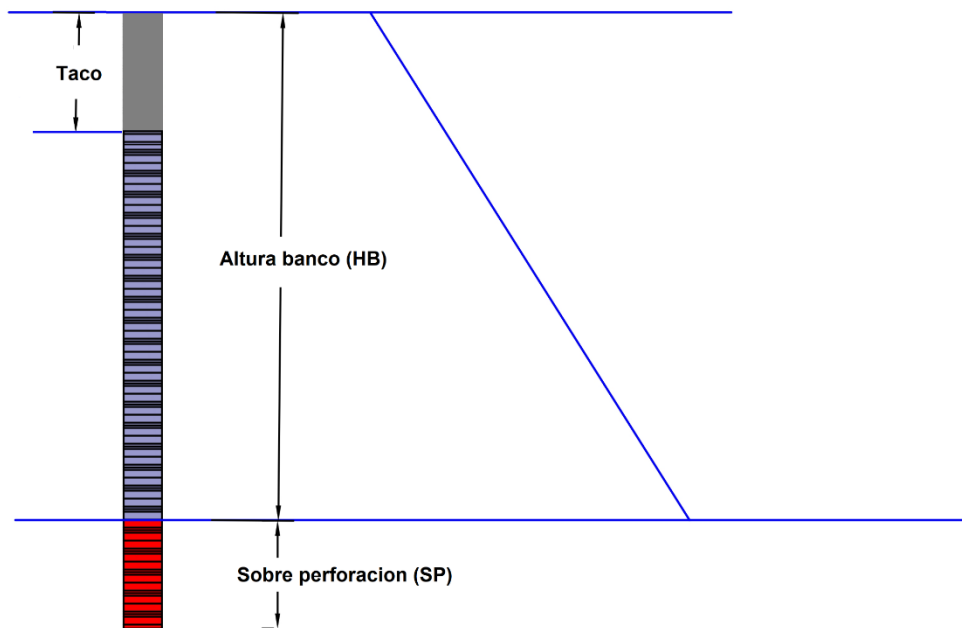
#### **d) Longitud de taco (T)**

Normalmente el taladro no se llena en su parte superior o collar, la que se rellena con material inerte que tiene la función de retener a los gases generados durante la detonación, sólo durante fracciones de segundo, suficientes para evitar que estos gases fuguen como un soplo por lo boca del taladro y más bien trabajen en lo fragmentación y desplazamiento de lo roca en toda la longitud de lo columna de cargo explosivo (8).

$$T = L + \frac{SP}{3}$$

En lo práctico también se relacionó el diámetro con la resistencia a compresión, con valores para roca blanda a intermedio de:" (8)

$$T = 32Ø \text{ a } 35Ø$$



**Figura 8. Esquema de taco en un taladro**

### **e) Altura de banco (H)**

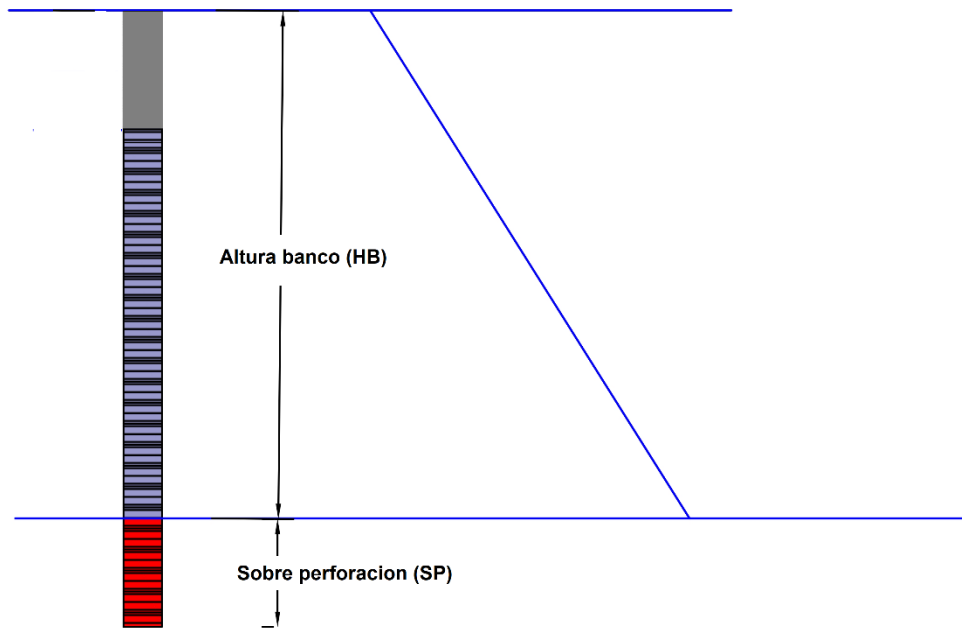
La altura es función del equipo de excavación y carga, del diámetro de perforación, de la resistencia de la roca de la estructura geológica y estabilidad del talud, de la mineralización y de aspectos de seguridad (8).

Normalmente los cargadores frontales a ruedas se emplean en bancos de 5 a 10 m de altura, con taladros de 65 a 100 mm (2 1/2" a 5") de diámetro, mientras que las excavadoras y grandes palas a oruga, en bancos de 10 a 15 m y más, con taladros de 100 mm (4" a 12") o de diámetro (8), pudiéndose estimar la altura de banco con la siguiente fórmula:

$$H = 10 + 0.57(C - 6)$$

Dónde:

**C** = es la capacidad de cucharón de la excavadora en m<sup>3</sup>



**Figura 9. Esquema de altura de banco**

#### **f) Burden (B)**

Según el Manual de Exsa: “También denominada piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre. Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura.” (8)

Se considera el parámetro más determinante de la voladura. “Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo a emplear (8).

En la práctica se relaciona el burden con el diámetro con la resistencia a la compresión de la roca:

$$B = 20\varnothing \text{ a } 40\varnothing$$

Dónde:

**B** = Burden

**∅** = diámetro del taladro (m)

#### **g) Fórmulas aplicables en el diseño**

Formula de Ash: considera un constante kb que depende de la clase de

roca y tipo de explosivo empleado:

$$B = \frac{(Kb \times \emptyset)}{12}$$

Dónde:

**B** = burden (pies)

$\emptyset$  = diámetro de taladro (pulgadas)

**Kb** = constante, según el cuadro

**Tabla N. 5: Parámetros para determinar el burden del tajo**

Clase de roca	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Clase de roca		
		Blanda	Media	Dura
Dens. Pot. baja	0.89 a 0.9	30	25	20
Dens. Pot. Media	1.0 a 1.2	35	30	25
Dens. Pot. alta	1.2 a 1.6	40	35	30

Fuente: EXSA, 2019

#### h) Fórmula de C. Konya

Basada en las teorías del Dr. Ash. Determina el burden con base en la relación entre el diámetro de la carga explosiva y la densidad, tanto del explosivo como de la roca, según:

$$B = 3.15 \emptyset_e \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

Dónde:

**B** = burden, en pies.

$\emptyset_e$  = diámetro del explosivo, en pulgadas.

$\rho_e$  = densidad del explosivo.

$\rho_r$  = densidad de roca.

#### i) Espaciamiento (E)

El Manual de Exsa afirma: “es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila” La selección del espaciamiento de taladros de voladura está



generalmente relacionada al burden. (8) Evidencias teóricas y prácticas sugieren que la relación óptima E/B en bancos con mallas triangulares es 1.15." Además, según cuestiones operativas también se consideran mallas triangulares, rectangulares y cuadradas, donde para calcular el espaciamiento consideran rangos (8).

$$E = 1.15 * B$$

Dónde:

**E**= espaciamiento (m)

**B** = burden

#### **j) Radio de longitud a burden o factor de rigidez (L/B)**

El Manual de Exsa postula:

La relación ideal de longitud a burden es de 3: 1 que sirve de referencia para comprobar el burden y diámetro óptimo, mediante tanteos con diferentes diámetros hasta aproximarnos lo más posible a 3, en base al burden obtenido con la fórmula de Konya (8).

$$sf = \frac{H}{B}$$

Dónde:

**H** = altura de banco (m)

**B** = burden (m)

### **2.3.4. Cálculos y distribución de la carga explosiva**

#### **a) Carga de fondo**

Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso, para, junto con la Sobre perforación, mantener lo rasante, evitando la formación de resaltos o lomos y también limitar la fragmentación gruesa con presencia de balones. Su longitud es normalmente equivalente a la del burden más la Sobre perforación: **B + 0.3 B**; luego (8):

$$CF = 1.3B$$

No debe ser menor de 0.6 B porque su tope superior esté al menos al nivel del piso del banco. Se expresa en kg/m o lb/pie de explosivo (8).

### b) Carga de columna

El Manual de Exsa afirma:

Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menor densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor, empleándose normalmente Anfo convencional, Examon-P o Anfo Pesado en relaciones de 1 0/90 a 20/80. La altura de la carga de columna se calculó por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma de la carga de fondo más el taco (8)

$$CC = L - (CF + T)$$

Usualmente  $CC = 2.3B$

### c) Carga específica

Según el Manual de Exsa: "llamado también consumo específico o factor de carga (power factor), es la cantidad de explosivos necesarios para fragmentación de; 1 m<sup>3</sup> o yd<sup>3</sup> de roca. Se expresa en kg/m<sup>3</sup> o lb/yard<sup>3</sup>" (8)

$$CF = \frac{\text{total de explosivos utilizados, en kg.}}{\text{total de m}^3 \text{ rotos cubicados}}$$

### d) Estimación de carga

Volumen que romper por taladro, malla por altura de taladro (8).

$$V = B \times E \times H = m^3 \text{ por taladro}$$

Tonelaje; volumen por densidad de la roca o mineral (8).

Volumen de explosivo ( $V_e$ ) ( $m^3$ )

El Manual de Exsa (2019) indica: "diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva (columna continua) o por lo sumo de las cargas segmentados" (8).

$$V_e = \emptyset \times C_e$$

### e) Factor de carga (FC)

Es la relación entre el peso de explosivo utilizado y el volumen de material roto (8).

$$FC = \frac{W_e}{V_r}$$

Dónde:

**$W_e$**  = cantidad de explosivos por taladro (kg)

**$V_r$**  = volumen de roca por taladro ( $m^3$ )

### f) Tonelaje roto

El tonelaje roto es igual al volumen del material roto multiplicado por la densidad de dicho material (8).

$$\text{Tonelaje} = V_r \times \rho_r$$

Dónde:

$\rho_r$  = Densidad de roca.

### ➤ Carga específica para cada taladro ( $C_e$ )

#### • Primera fila:

$$C_e = (H - SP) \times E \times (B + 2) \times FC$$

$$e = H - SP \times E \times (B + T/2) \times FC$$

#### • Segunda fila:

$$C_e = (H - SP) \times E \times B \times FC$$

Dónde:

**$C_e$**  = carga explosiva, en kg

**H** = profundidad de taladro.

**SP** = Sobre perforación.

**E** = espaciamiento entre taladros.

**B** = burden.

**T** = piso quedado

**FC** = factor de carga (por tipo de roca, definir para cada caso en especial)

### g) Perforación específica (Pe)

Es el número de metros o pies que se tiene que perforar por cada m<sup>3</sup> de roca volada (8).

$$Pe = \frac{(L/H)}{B \times E}$$

Dónde:

**L** = profundidad del taladro (altura de banco H-0.3B)

**H** = altura de banco.

**B** = burden.

**E** = espaciamiento.

### h) Factor de perforación (FP)(m/m<sup>3</sup>)

$$FP = \frac{H}{B} \times E \times H$$

Luego:

$$\frac{\text{Perforacion total}}{FP \times \text{Volumen total}}$$

### i) Cálculo general para carga de taladro (Ct) (lb/pie)

$$0.34 \times \emptyset^2 \times pe$$

Dónde:

**0.34** = factor.

$\emptyset$  = diámetro de taladro (pulg)

$\rho_e$  = densidad del explosivo a usar.

**j) Densidad de carga (Dc)**

$$Dc = 0.57 \times \rho_e \times \varnothing^2 \times (L - T)$$

Dónde:

**Dc** = densidad de carga (kg/tal)

**0.57** = factor.

$\varnothing$  = diámetro de taladro (pulg)

$\rho_e$  = densidad del explosivo a usar.

**L** = longitud de perforación.

**T** = taco.

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método general o teórico de la investigación**

###### a) Método general

En forma general se empleará el método científico, porque el diseño de malla de perforación y voladura ayudará a mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.

###### b) Método específico

El método específico que se empleó es el método experimental deductivo. Se deduce, que, tras el diseño de malla de perforación y voladura, mejorara la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa.

##### **3.1.2 Alcance de la investigación**

###### a) Tipo de investigación

La investigación es aplicada, porque el objetivo de la investigación es determinar el diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa.

###### b) Nivel de investigación

La investigación es descriptiva, porque trata de explicar de qué manera el diseño de malla de perforación y voladura, ayudará a mejorar la estabilidad del talud del Banco 4672 proyecto 18 de la unidad minera Utunsa.

## **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es experimental.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

Todos los bancos de la unidad minera Utunsa.

### **3.3.2 Muestra**

Banco 4672 proyecto 18 de la unidad minera Utunsa.

## **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos**

En la presente investigación se realizará la recolección de datos en campo, mediante la técnica observacional y procesamiento de datos pasados y actuales en los trabajos de perforación y voladura superficial de la Unidad Minera Utunsa. Para la recolección de datos del área de operaciones mina y el área de planeamiento de los trabajos realizados en los tajeos, informes diarios, informes mensuales y anuales, se usó tesis, libros y laptop para el procesamiento de los datos.

### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.**

- Informes
- Publicaciones
- Tesis
- Planos
- Fichas
- Libros
- Internet
- PC.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar la estabilidad de taludes en la unidad minera Utunsa

##### 4.1.1 Plan de minado en la unidad minera Utunsa

###### a) Diseño de tajo de la unidad minera Utunsa

El diseño operativo del Pit, planificada para la extracción del mineral del tajo abierto, se considera los siguientes parámetros geotécnicos de los taludes.

**Tabla 6. Parámetros de diseño de tajo en la unidad minera Utunsa**

<b>Parámetros de diseño de tajo abierto</b>	
Ancho de Rampa	12 m
Gradiente de Rampa	10%
Altura de Banco	8 m
Talud de Banco	65° 70°
Ancho de Berma	4.75 m

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

###### b) Programa de minado

En la siguiente tabla se muestra el plan de minado anual en la unidad minera Utunsa.

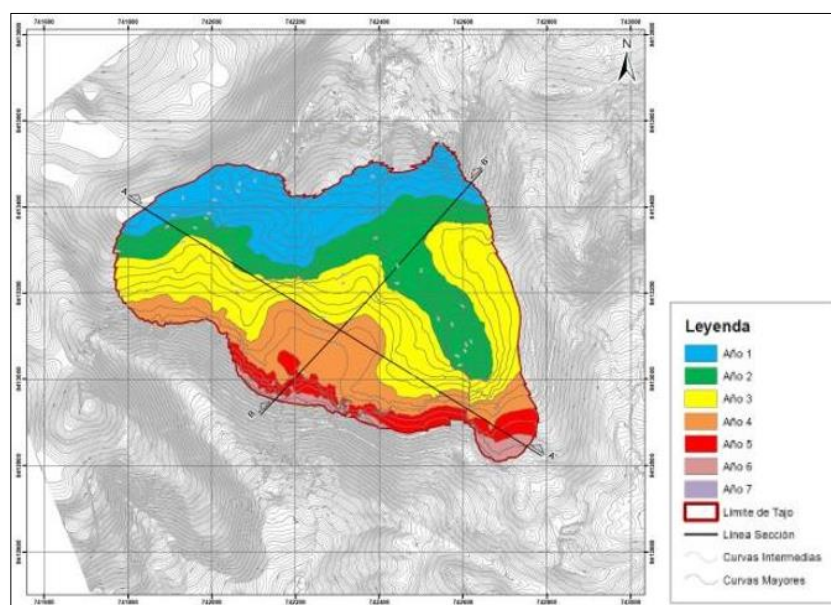


**Tabla 7. Plan de minado anual – unidad minera Utunsa**

Año	Mineral (T)	Desmorte (T)	S.R.	Ley Au (gr/t)	Oz - Au
1	5,400.000	3,700.000	0.69	0.43	73786
2	5,400.000	3,100.000	0.57	0.42	72918
3	5,400.000	3,100.000	0.57	0.42	72918
4	5,400.000	2,500.000	0.46	0.38	65973
5	5,400.000	1,000.000	0.19	0.32	55556
6	5,400.000	500.000	0.09	0.32	55556
7	5,400.000	100.000	0.04	0.3	25078
<b>Total</b>	<b>37,800.000</b>	<b>14,000.000</b>	<b>0.40</b>	<b>0.37</b>	<b>421,785</b>

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

En la tabla anterior se muestra la secuencia de minado del tajo de la Unidad Minera Utunsa



**Figura 10. Plan de minado anual de la unidad minera Utunsa**

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

#### 4.1.2 Control de operaciones de la unidad minera Utunsa

El plan de minado del proceso operacional del tajo engloba lo siguiente:

- La perforación
- La voladura
- El carguío
- El acarreo

En la siguiente tabla se muestra el plan de minado superficial de la unidad minera Utunsa.

**Tabla 8. Plan de minado superficial de la unidad minera Utunsa**

<b>Ciclo de operaciones de la Unidad Minera Utunsa</b>			
<b>Perforación</b>	<b>Voladura</b>	<b>Carguío</b>	<b>Acarreo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La perforadora rotativa DM45</li> <li>• El diámetro de 7 7/8"</li> <li>• La altura total 8 metros</li> <li>• La sobre perforación de 3.20 metros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los taladros son cargados con aproximadamente 192 kg de explosivo para 130 taladros, haciendo uso de los accesorios de voladura correspondientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo pesado tales como: excavadoras y cargadores frontales sobre neumático</li> <li>• Estos equipos cargan a volquetes de 20 m3 de capacidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el acarreo de mineral y desmonte se realizan con volquetes de 20 m3 para transportar el mineral del tajo al PAD de lixiviación por una rampa con pendiente máxima de 10% y 12 m de ancho mínimo</li> </ul>
<p><b>Diseño de malla de perforación</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primera Malla: 6.1 x 7.0 m, para material coluvial.</li> <li>• Segunda Malla: 5.2 x 6.0 m, para roca in situ</li> <li>• Tercera Malla: 4.5 x 5.2 m, para roca in situ</li> </ul>		<p>Los equipos de carguío son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 Cargador Frontal CAT 992 - 10.0 m3</li> <li>• 02 Excavadoras CAT 345 - 2.2 m3</li> <li>• 01 Cargador Frontal CAT 966 - 4.5 m3</li> </ul>	<p>Para el acarreo se cuenta con la siguiente flota:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuenta con 14 volquetes operativos para mineral.</li> <li>• Cuenta con 10 volquetes operativos para desmonte.</li> <li>• Cuenta con 02 volquetes en Stand By.</li> </ul>

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*



**Figura 11. Perforación en el banco 4672**  
**Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

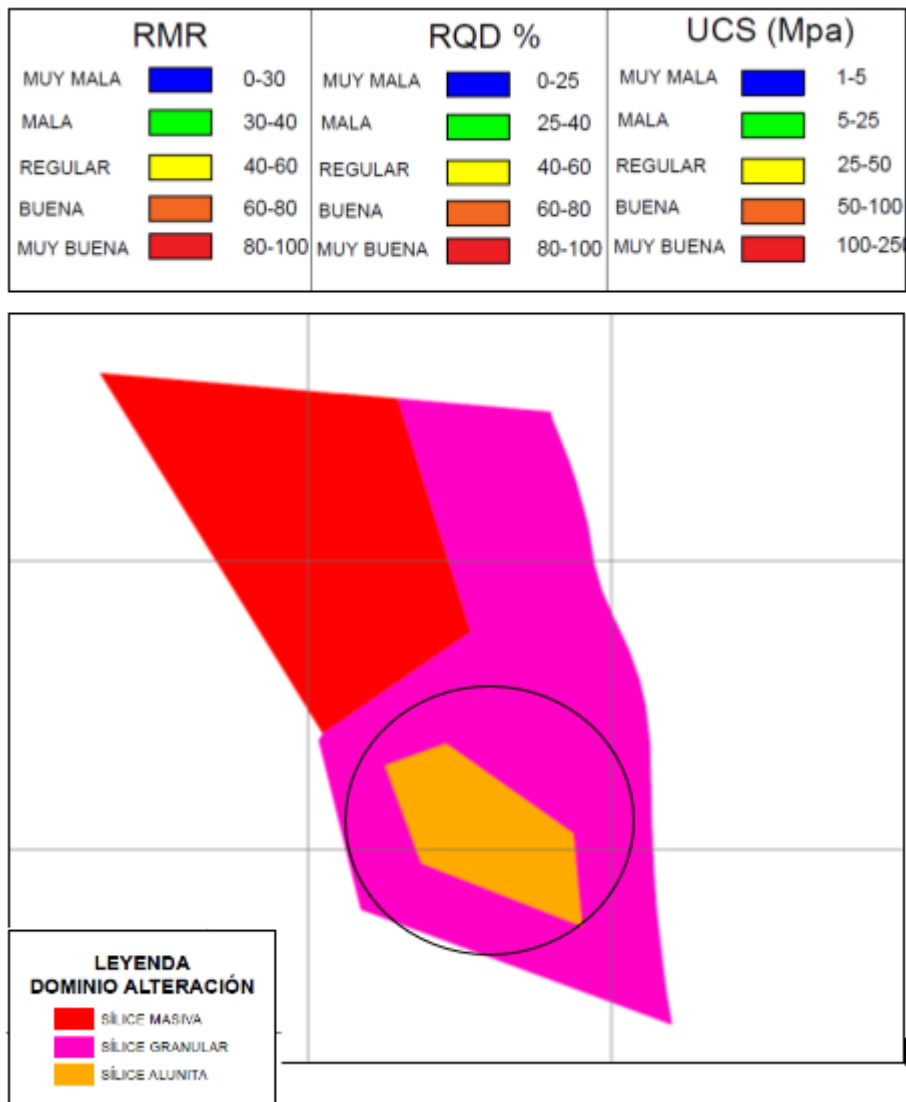


**Figura 12. Área del banco 4672**  
**Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

#### **4.1.3 Caracterización geotécnica de la estabilidad de los taludes del banco 4672 del proyecto 18 de la unidad minera Utunsa**

##### **a) Zonificación según el mapeo geotécnico**

La dureza del macizo rocoso se viene determinando según la clasificación RMR, %RQD, UCS (Mpa) esto no permite realizar voladuras controladas en límites finales del tajo. Asimismo, se trabaja con los dominios de alteración proporcionados por geología con modelos de largo y corto plazo (6).



**Figura 13. Clasificación geotecnia del RMR, ROD% y UCS (Mpa)**  
**Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

**Interpretación:**

La zonificación según el mapeo geotécnico del banco 4672 del proyecto 18 presenta el tipo de macizo rocoso competente. En toda el área del proyecto 18 cuenta con una roca de dureza media. Según este mapeo geotécnico, al realizar el diseño de la malla de perforación y voladura es importante evaluar la secuencia de salida y aprovechar la energía del explosivo esto ayudara a mejorar la granulometría minimizando el daño del talud.

## **4.2 Control del proceso de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la unidad minera Utunsa**

Para el análisis comparativo del diseño de la perforación y voladura anteriormente y el diseño de la perforación y voladura del banco 4672 del proyecto 18 propuesto.

### **4.2.1 Estado situación de la perforación y voladura del Banco 4672**

En el diseño de malla de perforación y voladura, se tuvo lo siguiente:

- La altura de banco es de 8.0 m
- La sobre perforación es de 1.0 m
- La longitud del taladro es de 9.0 m
- El diseño de malla es triangular: espaciamiento (S) = 7.5 m y el burden (B) = 6.5 m
- La densidad del material es de 2.54 t/m<sup>3</sup>
- El diámetro del taladro es de 7 7/8".
- La altura de carga en taladro: 6.0 m
- El taco es de 3.0 m
- HA G:30/70 Kilos de explosivo por taladro producción es de 237
- Las toneladas por taladro son de 325 toneladas
- El Factor de potencia es de 0.73 kilos de explosivo por toneladas.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de perforación y voladura para el banco 4672 del estado situacional

Tabla 9. *Parámetros de perforación y voladura para el banco 4672 del estado situacional*

DISEÑO DE MALLA ACTUAL		
DISPARO		PRIMARIO
DATOS GENERALES		
AÑO		1/01/2023
MATERIAL		MINERAL
tn		1
TAJO		BANCO 4672
ZONA		SUR
TIPO DE ROCA		Andesita
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.6
PARAMETROS DE PERFORACION		
ALTURA DE BANCO	m.	8.0
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	7 7/8
MALLA		Triangular
ESPACIAMIENTO	m.	6.5
BURDEN	m.	7.5
SUB DRILLING	m.	1.0
Stm	m.	6.0
ALTURA TALADRO	m.	9.0
TACO	m.	3.0
PARAMETROS DE VOLADURA		
EXPLOSIVO		HA-37
TIEMPO ESPONJAMIENTO	min	0
DENSIDAD EXPLOSIVO	gr/cc	1.22
DENSIDAD LINEAL	kg/m.	38.3
ALTURA DE CARGA	m.	6.0
CARGA / TALADRO	kg/Tal	230.0
ENSANCHAMIENTO	%	3
CARGA / TALADRO REAL	kg/Tal	236.9
TONELAJE		
TEORICO	Ton.	1030
FACTOR DE POTENCIA	kg/Ton	0.23

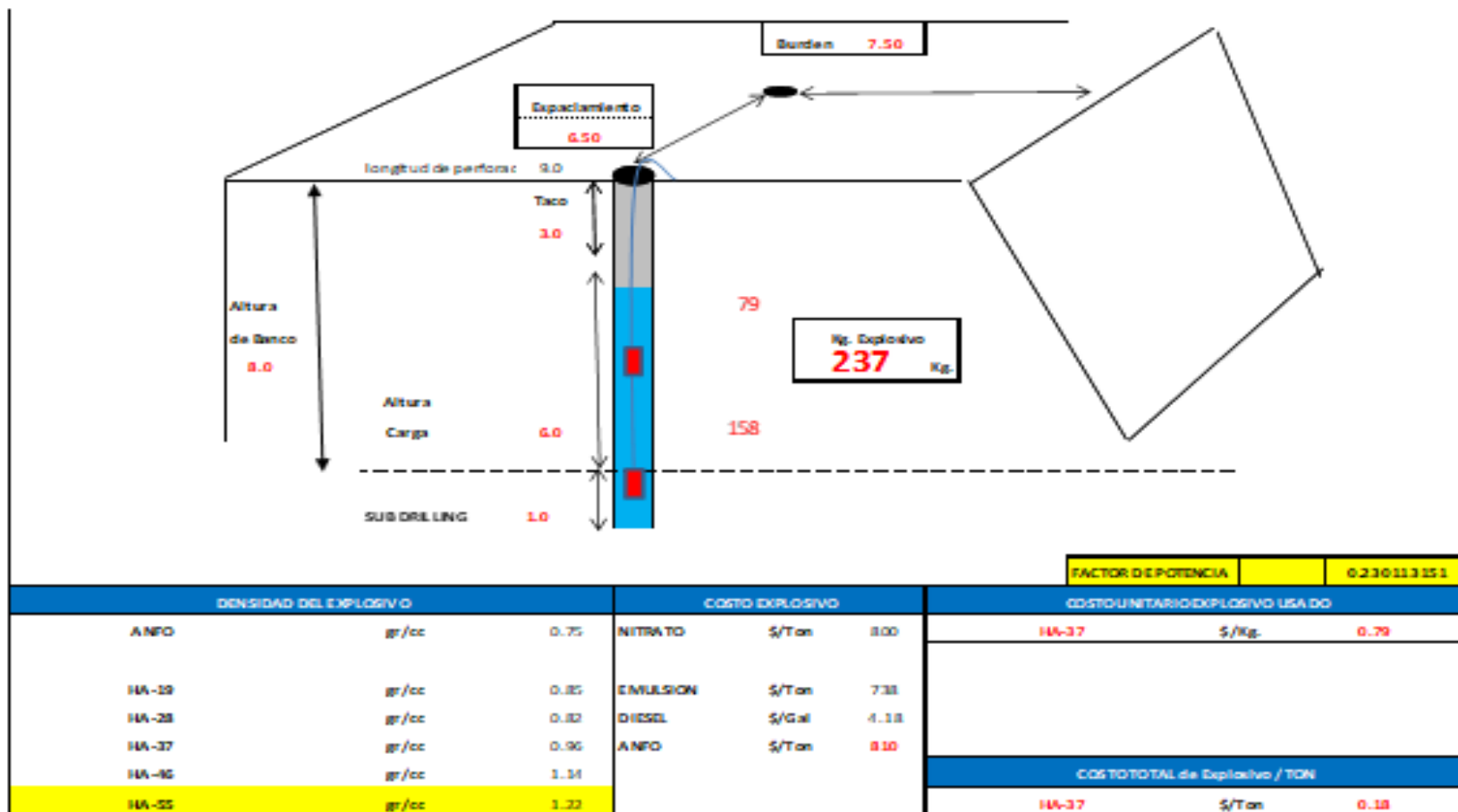
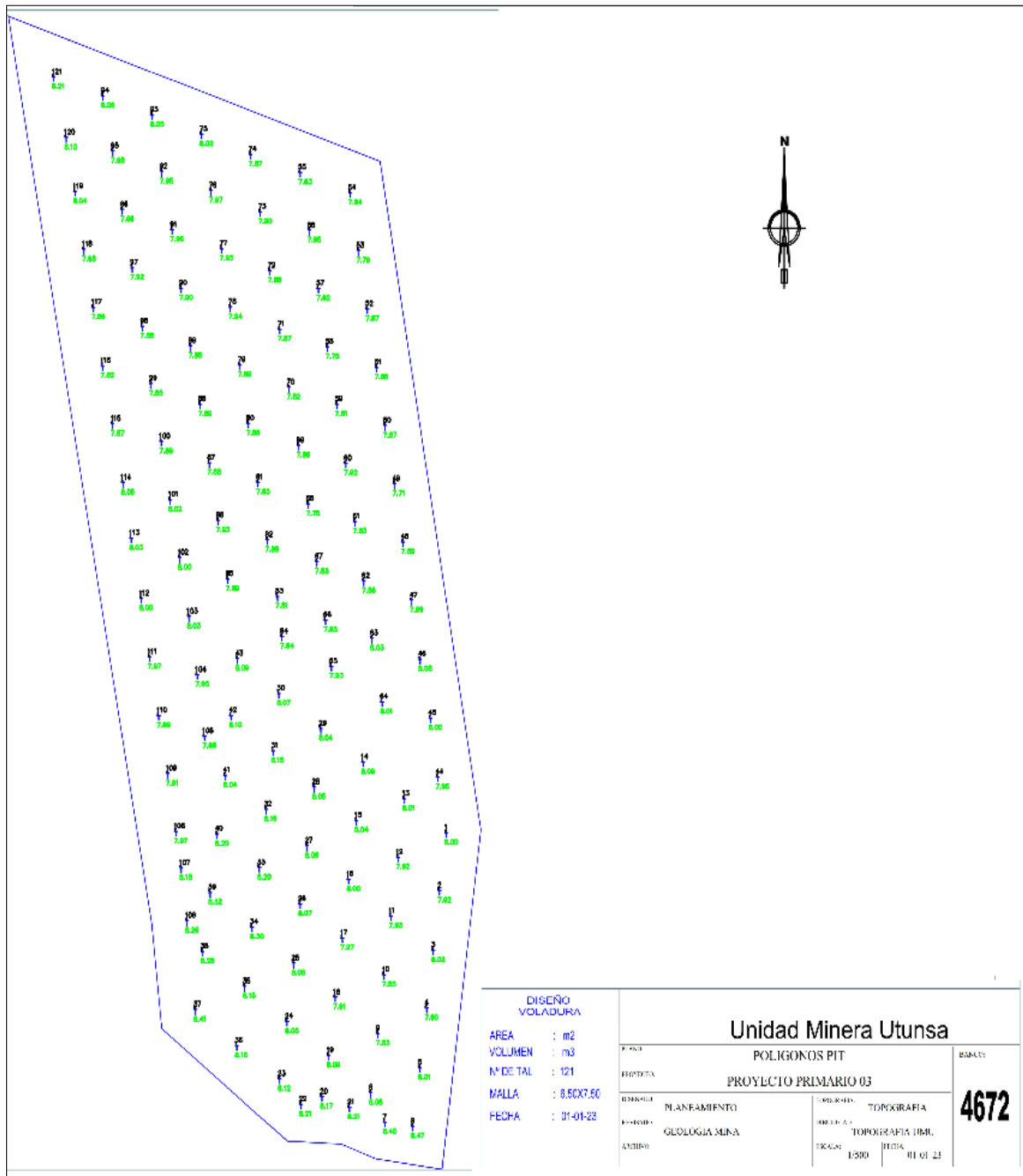


Figura 14. Esquema del diseño de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional. Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)

En la siguiente figura se muestra del estado situacional del banco 4672, el diseño de malla de perforación y voladura.



**Figura 15. Diseño de malla de perforación y voladura del banco 4672, en el estado situacional.**  
 Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)

**Interoperación:**

El estado situacional del diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 indica que tuvo muchas deficiencias en las operaciones de perforación y



voladura como la fragmentación inadecuada del mineral tras el disparo, la deficiencia en el alineamiento de taladros, taladros tapados y movimientos innecesarios en el traslado del equipo de perforación.

- **Fragmentación inadecuada del mineral tras el disparo**

El estado situacional del diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 indica que el daño del talud es debido a que el burden es de 6.5 m y espaciamiento 7.5 m. Esto hace que, en primer lugar, no se tenga una fragmentación eficiente a consecuencia de esto se presenta deficiencias en el cargo y transporte como trabajos secundarios a fin de llegar a una fragmentación ideal para el procesamiento en planta.

- **Deficiencia en el alineamiento de taladros**

En la etapa de perforación con el equipo de perforación DM45, específicamente en la actividad de la perforación de los taladros, es esencial llevar un alineamiento de las filas de los taladros, la deficiencia de esta actividad es por las malas prácticas operativas del operador del equipo de perforación y la deficiencia en la supervisión del área de trabajo por un mal control.

- **Generación de taladros tapados o sellados**

En la etapa de perforación con el equipo de perforación DM45, la inadecuada coordinación en la secuencia de perforación de los taladros hace que se tapen los taladros ya el equipo de perforación se traslada sin un orden, esta mala práctica operativa hace que se tapen los taladros perforados y generen trabajos secundarios de perforación ya que se tendría que volver a perforar el taladro, en términos económicos elevan el precio del metro perforado del equipo.

- **Movimientos innecesarios en el traslado del equipo de perforación.**

Cada vez que se da el orden para realizar el desplazamiento del equipo de perforación o los equipos de carguío y acarreo lleva un costo unitario por cada actividad, al no tener un buen control y coordinación en primer lugar se va generar perdidas del tiempo programado de trabajo y por último va elevar nuestros costos unitarios por cada actividad.

#### **4.2.2 Mejora del Diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 para mejorar la estabilidad de taludes**

Tras las deficiencias encontradas se procedió a realizar el cálculo del *burden* y espaciamiento con el modelo matemático de R. L Ash, para el diseño de la malla de perforación y voladura del Banco 4672 proyecto 18.

En la siguiente tabla el cálculo del *burden* y espaciamiento con el modelo matemático de R. L Ash.

Tabla 10. Cálculo del burden y espaciamiento con el modelo matemático de R. L Ash. del banco 4672 proyecto 18

Modelo matemático de R. L Ash			
Formula	Donde:		
$B = K_b * \frac{D}{12}$	B: Burden en pies		
	D: diámetro del taladro		
$S = 1.2 * B$	Kb: Constante que dependerá del tipo de roca y del explosivo usado		
	Donde:		
			B: Burden en pies
			S: Espaciamiento
Constante que dependerá del tipo de roca y del explosivo usado(kb)			
Tipo de Explosivo	Tipo de roca		
	Blanda	Media	Dura
Baja densidad (0.8 - 0.9) gr/cc baja potencia	30	25	20
Baja densidad (1.0 - 1.2) gr/cc media potencia	35	30	25
Baja densidad (1.3 - 1.4) gr/cc alta potencia	40	35	30
Calculo de la Metodología del criterio de R. L Ash			
Explosivo utilizado	Heavy Anfo (HA-55) densidad de 1.22 gr/cc		
Calculo del burden - Reemplazando formula			
B = 30		x	7.875
			12
B (ft) = 19.7		< >	B (m) = 6.0
Calculo del burden - Reemplazando formula			
S (m) = 1.2		x	6.0
S (m) = 7.20			
Reajuste en campo del Burden y espaciamiento			
Burden	7%	B (m) =	5.6
Espaciamiento	9%	S (m) =	6.5

**Interpretación:**

El tipo de explosivo a utilizar es el Heavy Anfo (HA-55) densidad de 1.22 gr/cc, y el tipo de roca es la andesita según la clasificación geotécnica es una roca media, según la constante que dependerá del tipo de roca y del explosivo en la tabla se tiene un valor de 30. Con este dato se procede a reemplazar la fórmula del modelo matemático de R. L. Ash, en el cual el *burden* teórico es de 6 metros y el espaciamiento teórico es de 7.20 metros

En el análisis de campo, se procedió a calcular el *burden* y espaciamiento práctico se redujo los parámetros en un 7 % en el *burden* y 9 % para el espaciamiento, obteniéndose los siguiente:

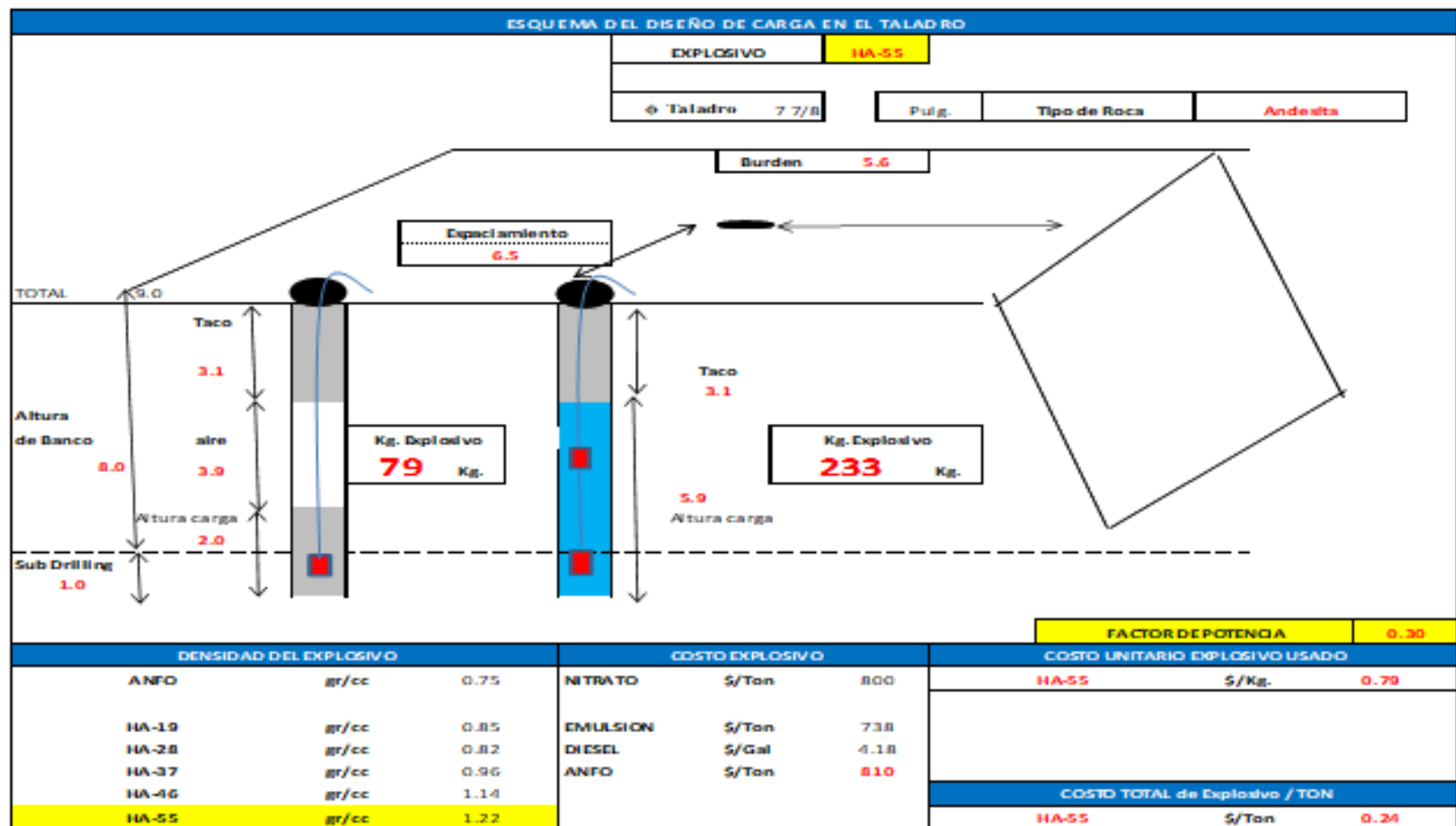
- El *burden* práctico es de 5.6 metros
- El espaciamiento es de 6.5 metros

En la siguiente tabla, se muestra los parámetros de perforación y voladura del diseño de malla de perforación y voladura Banco 4672 proyecto 18.

Tabla 11. *Parámetros de perforación y voladura del diseño de malla de perforación y voladura banco 4672 proyecto 18*

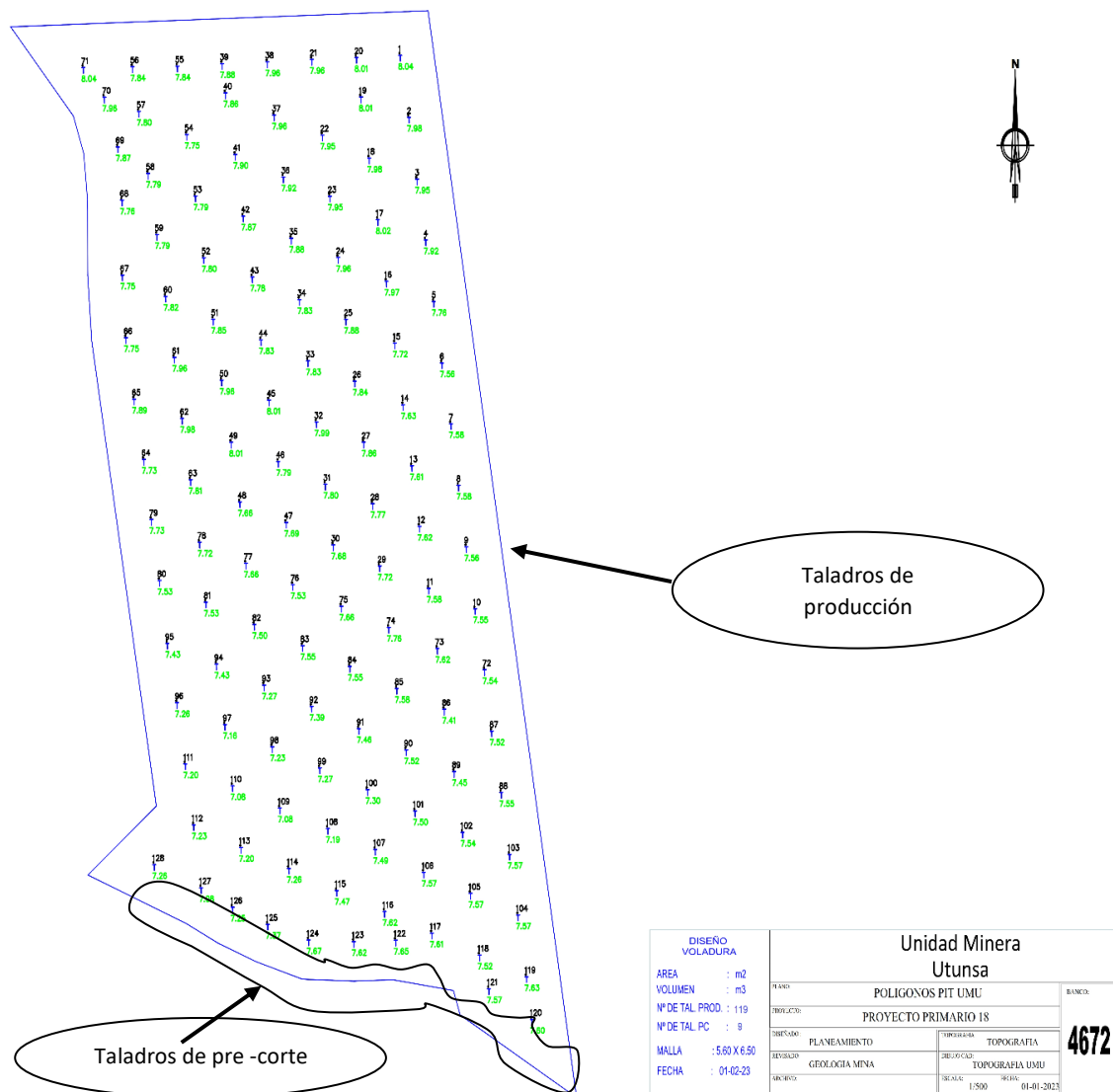
DISEÑO DE MALLA OPTIMO			
DISPARO		PRIMARIO	
<b>DATOS GENERALES</b>			
AÑO		1/02/2023	
MATERIAL		MINERAL	
tn		1	
TAJO		BANCO 4672	
ZONA		SUR	
TIPO DE ROCA		Andesita	
DENSIDAD ROCA	gr/cc	2.6	
<b>PARAMETROS DE PERFORACION</b>			
ALTURA DE BANCO	m.	8.0	
DIAMETRO DE BROCA	Pulg.	7 7/8	
MALLA		Triangular, equilateral	
ESPACIAMIENTO	m.	6.5	
BURDEN	m.	5.6	
SUB DRILLING	m.	1.0	
Strm	m.	5.9	
ALTURA TALADRO	m.	9.0	
TACO	m.	3.1	
<b>PARAMETROS DE VOLADURA</b>			
		TALPRODUC	TAL.PC
EXPLOSIVO		HA 37	HA 37
TIEMPO ESPONJAMIENTO	min	3	3
DENSIDAD EXPLOSIVO	gr/cc	1.22	0.96
DENSIDAD LINEAL	kg/m.	38.3	38.3
ALTURA DE CARGA	m.	5.9	2.0
CARGA / TALADRO	kg/Tal	226.2	76.7
ENS ANCHAMIENTO	%	3	3
CARGA / TALADRO REAL	kg/Tal	233.0	79.0
<b>TONELAJE</b>			
TEORICO	Ton.	771	
FACTOR DE POTENCIA	kg/Ton	0.30	

Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)



**Figura 16. Esquema del diseño de malla de perforación y voladura banco 4672 proyecto 18  
Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

En la siguiente figura, se muestra el diseño de malla de perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.



**Figura 17. Diseño de malla de perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

### **Interoperación:**

Este nuevo diseño de malla triangular equilátera para la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 obtuvo un *burden* de 5.6 metros y un espaciamiento es de 6.5 metros. Esto hará que la fragmentación de la roca sea la óptima, también se realizó taladros de precorte para no dañar los taludes y mejorar la estabilidad del banco

Para el carguío de los taladros se realizan con el explosivo Heavy Anfo (HA-55), este diseño de malla triangular equilátera de perforación y voladura cuenta con 119 taladros de producción. El uso de explosivos por cada taladro de producción es de 233 kilos de Heavy Anfo (HA-55), por otro lado, también cuenta con 9 taladros de pre corte el uso de explosivos por cada taladro de precorte es de 79 kilos de Heavy Anfo (HA-55), a fin de mejorar la estabilidad del banco como la fragmentación de esta.

#### **4.2.3 Mejora de la estabilidad de los taludes del banco 4672 proyecto 18 en la unidad minera Utunsa**

Se realizó la comparación de la estabilidad de taludes finales del estado situacional del banco 4672 proyecto 03 y la mejora de la estabilidad de los taludes del banco 4672 proyecto 18 respectivamente. Para el análisis de la estabilidad de los taludes finales se ha utilizado el software SLIDE Versión 5.013, desarrollado por Rocscience Inc. (2004), para la evaluación situación y en la mejora de la estabilidad de los taludes.

##### **a) Estado situación análisis de la estabilidad de los taludes del banco 4672 proyecto 03**

Los resultados en la voladura del banco 4672 proyecto 03 del estado situacional se tuvo deficiencias como:

- La mala fragmentación del mineral fue producto de que el *burden* de 6.5 m y el espaciamiento de 7.5 m se sitúan con una separación deficiente asiendo que se generen bancos afectando así a la fragmentación.
- Mal alineamiento de taladros: el mal alineamiento de los taladros genera la variabilidad del *burden* y espaciamiento asiendo que las zonas determinadas se concentre mayor fuerza de carga explosiva moviendo más el terreno y en otras zonas que se generen bancos.



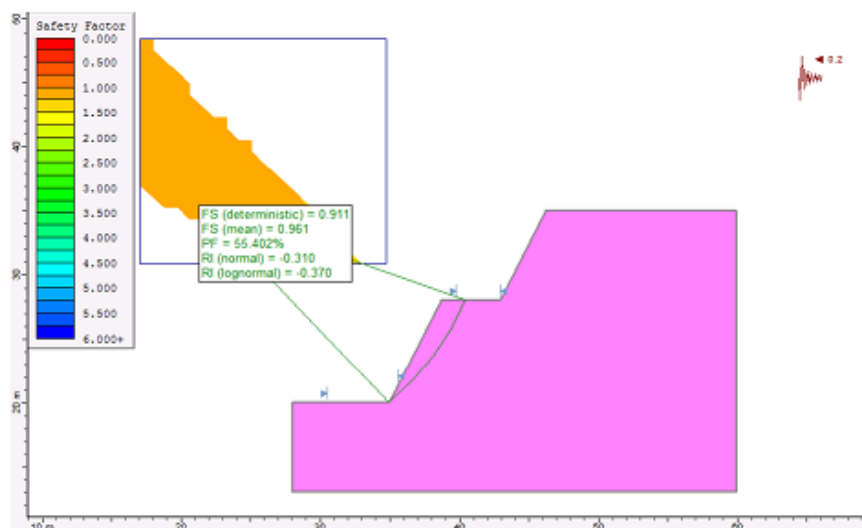
Tras el disparo con estos malos controles operacionales que causaron este tipo de resultados en la estabilidad del banco 4672 proyecto 03, se obtuvieron los siguientes resultados como se muestra a continuación:

En la siguiente tabla se muestra los parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 03.

**Tabla 12. Parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 03**

Altura talud (m)	Talud de banco (°)	Tipo de roca	Densidad del material Ton/m <sup>3</sup>	Ancho de berma (m)	Resistencia compresiva (Mpa)	Dureza de la roca
8	70	Andesita	2.54	4.75	15	media

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*



**Figura 18. Resultado del estado situación del análisis de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 03**

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

### Interpretación:

El resultado en el estado situacional tras el análisis de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 03 nos da como resultado lo siguiente:

- Un factor de seguridad del 0.96 el cual indican condiciones inestables, que es producto de las deficiencias de los trabajos operacionales mencionadas.
- El ancho de berma inestable es de 1.8 metros que viene hacer el 38 % del total de la berma que según diseño es de 4.75 metros.

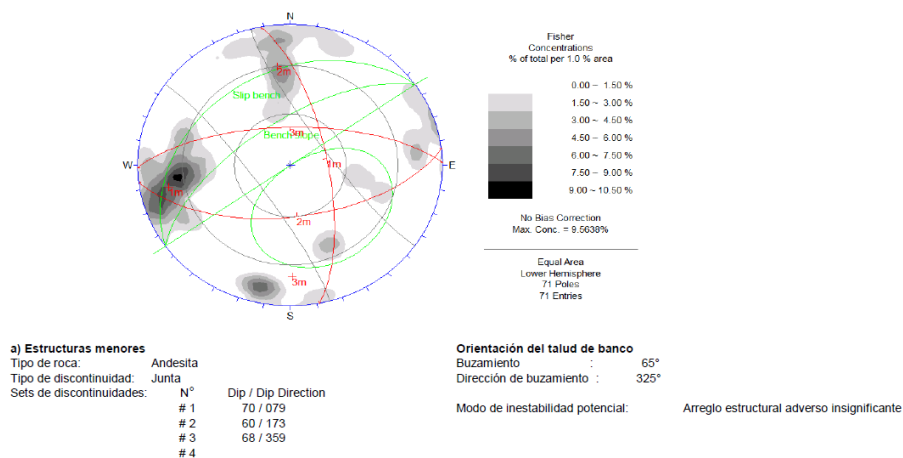
- El factor probabilístico es del 55.402 %, el cual es muy inestable.
- El tipo de falla es circular que se muestra en toda la extensión del talud final.

## b) Mejora de la estabilidad de los taludes del banco 4672 proyecto 18

### ➤ Análisis estructural geomecánico antes del disparo

Antes de realizar el disparo se procede a elaborar el análisis estructural del banco a fin de considerar el tipo de falla estructural que presenta el banco 4672 proyecto 18.

En la siguiente figura se muestra el estudio del tipo de falla estructural por análisis cinemático del Banco 4672 proyecto 18.

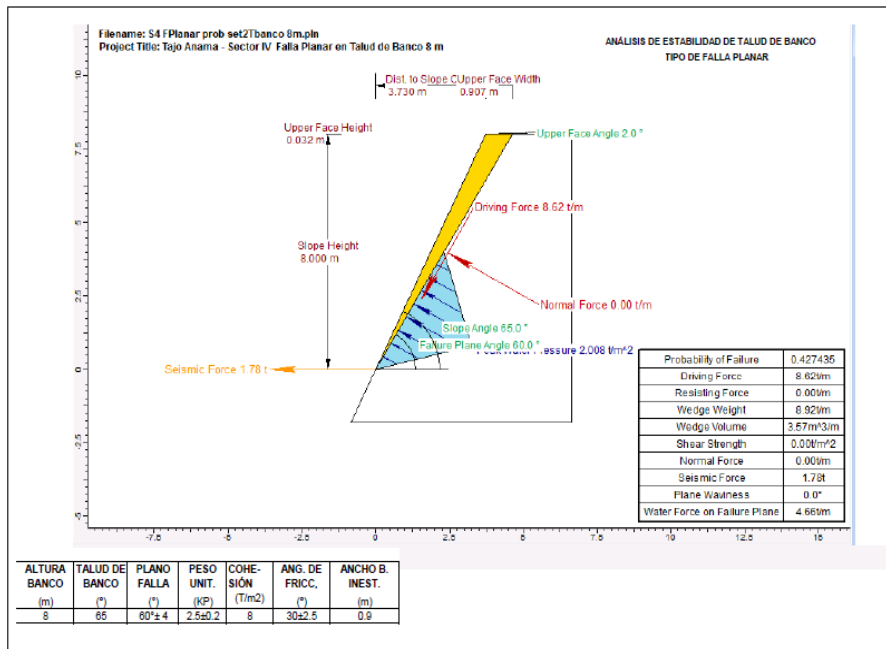


**Figura 19. Estudio del tipo de falla estructural por análisis cinemático del banco 4672 proyecto 18**

**Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

### Interpretación:

Según el análisis cinemático del banco 4672 proyecto 18, cuenta con el tipo de falla planar, el que está compuesta por 4 familias de discontinuidades bien definidas.



**Figura 20. Análisis de estabilidad del banco 4672 proyecto 18 Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

**Interpretación:**

De la figura se puede apreciar que la fuerza motriz en dirección al pie del talud es de 8.62 t/m, el ángulo del banco es de 65 grados y el ángulo de la falla planar es de 60 grados el cual es muy inestable.

➤ **Análisis estructural geomecánico después del disparo con la mejora del diseño de malla de perforación y voladura banco 4672 proyecto 18**

Los resultados en la voladura del banco 4672 proyecto 18 indica las siguientes mejoras:

- La mejora del diseño de la malla triangular equilátera de la perforación y voladura ayudó a replantear el burden a 5.6 m y el espaciamiento a 6.5 m, esta reducción permitió no generar bancos tras el disparo.
- La mejora del alineamiento de taladros: fue debido a la mejora del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura

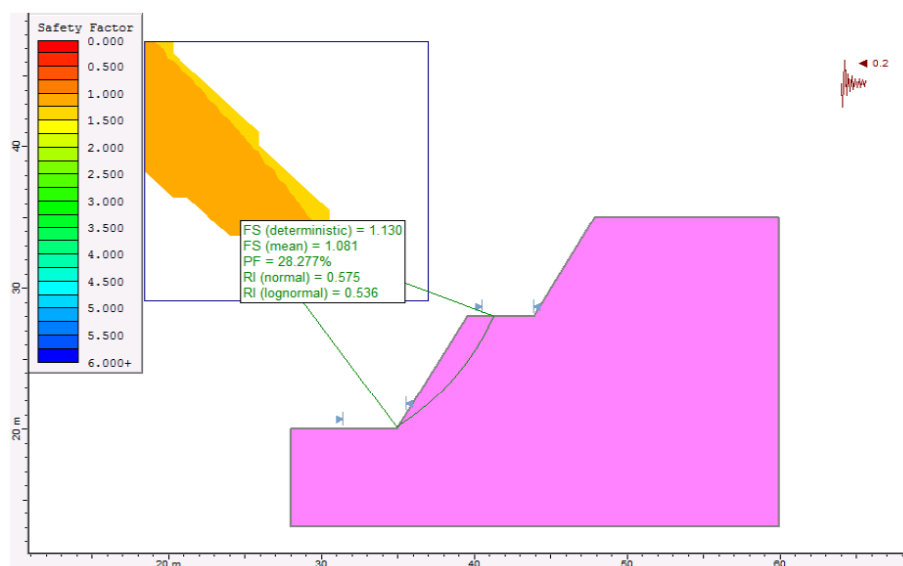
Tras el disparo con estos controles operacionales, se han obtenido mejores resultados en la estabilidad del banco 4672 proyecto 18, además, se presentan los siguientes resultados.

En la siguiente tabla, se muestra los parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 18.

**Tabla 13. Parámetros para el cálculo del factor de seguridad en el banco 4672 proyecto 18**

Altura talud (m)	Talud de banco (°)	Tipo de roca	Densidad del material Ton/m <sup>3</sup>	Ancho de berma (m)	Resistencia compresiva (Mpa)	Dureza de la roca
8	65	Andesita	2.54	4.75	15	media

*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*



**Figura 21. Resultado de la mejora de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 18**  
*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

### Interpretación:

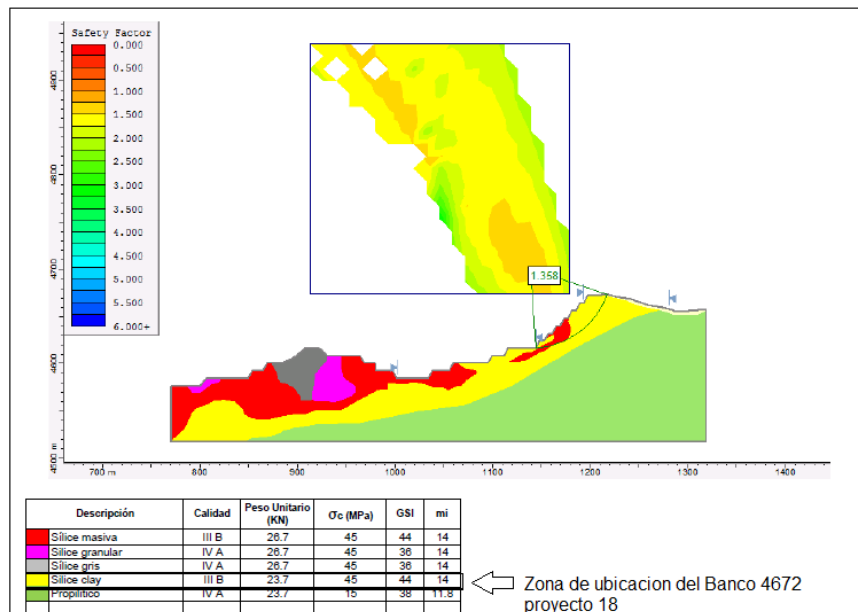
El resultado en el estado de la mejora tras el análisis de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 18 nos da como resultado lo siguiente:

- Un factor de seguridad del 1.13 el cual indican condiciones estables.
- El ancho de berma inestable es de 0.9 metros que viene hacer el 19% del total de la berma que según diseño es de 4.75 metros.
- El fator probabilístico es del 28.277 %, el cual es muy estable.
- El tipo de falla es planar que se muestra en toda la extensión del talud final.

Este nuevo diseño de malla triangular equilátera para la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 obtuvo un *burden* de 5.6 metros y un espaciamiento es de 6.5

metros, también cuenta con taladros de precorte para no dañar los taludes finales y mejorar la estabilidad del banco, esto aporato considerablemente a la mejora.

Tras el análisis de la estabilidad de taludes finales en todo el proyecto se tuvo buenos resultados. En la siguiente figura se muestra el análisis de estabilidad en general del proyecto Unidad Minera Utunsa.



**Figura 22. Análisis de estabilidad en general del proyecto unidad minera Utunsa. Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)**

### Interpretación:

El resultado global del proyecto de la estabilidad de taludes nos da como resultado lo siguiente:

- Un factor de seguridad del 1.358 el cual indican condiciones estables.
- El banco 4672 proyecto 18 se ubica en la zona de sílice con el tipo de roca media (IIIB).
- El tipo de falla predominante es el planar que se muestra en toda la extensión del proyecto unidad minera Utunsa.

### 4.3 Evaluación del diseño de la malla de perforación y voladura para mejorar el costo por tonelada rota en la unidad minera Utunsa

#### 4.3.1 Estado situacional, antigua malla de perforación y voladura del banco 4672

Tras las deficiencias encontradas en el estado situacional, se realizó el análisis comparativo del costo total de perforación y voladura por tonelada rota.

En las siguientes tablas se muestran el cálculo del costo de perforación y voladura por tonelada rota.

**Tabla 14. Estado situacional - parámetros generales de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672**

1.00-PARAMETROS GENERALES			
1.01-ZONA DE VOLADURA			1
1.02-BANCO			4672
1.03-PROYECTO			3
1.04-MINERAL BURD.	m		6.5
1.05-MINERAL ESPAC.	m		7.5
1.06-MINERAL TACO	m		3.0

**Tabla 15. Estado situacional – costo de voladura de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672**

2.00-PARAMETROS DE VOLADURA		
2.01-TALADROS VOLADOS	Uni	121
2.02-VOLUMEN	M3	15,482
2.03-TONELAJE	Tn	39,325
2.04-FACTOR DE POTENCIA	Kg/Tn	0.73
2.05-FACTOR DE CARGA	Kg/m3	1.85
2.60-COSTO DE VOLADURA		
2.61-GASTO EN EL PROYECTO	\$	26,754
2.62-COSTO POR TONELADA ROTA	\$/Tn r	0.68

**Tabla 16. Estado situacional – costo de la perforación de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672**

<b>3.00-PARAMETROS DE PERFORACION</b>		
3.01-TALADROS PERFORADOS	Uni	121
3.02-METROS PERFORADOS	m	1,089
3.03-VELOCIDAD DE PENETRACION	mp/h	45.44
3.04-TALADROS POR HORA	Tal /h	5
<b>3.50-COSTO DE PERFORACION</b>		
3.51-GASTO EN EL PROYECTO	\$	5,920
<b>3.52-COSTO POR METRO PERFORADO</b>	<b>\$/mp</b>	<b>5.436</b>

**Tabla 17. Estado situacional - costo de perforación y voladura (\$/t) de la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672**

<b>4.00 CONTROL COSTO DE PERFORACION Y VOLADURA (\$/TN R)</b>		
4.01-DESPLAZAMIENTO DE CARA LIBRE	m	13
<b>4.02-COSTO TOTAL DE PER-VOL</b>	<b>\$/TNR</b>	<b>0.83</b>

#### **Interpretación:**

Tras las deficiencias encontradas en la antigua malla de perforación y voladura del banco 4672, se obtuvo los siguientes costos:

- El costo de voladura por tonelada rota es de 0.68 \$/t
- El costo por metro perforado es de 5.436 \$/mp
- El costo total de perforación y voladura por tonelada es de 0.83 \$/t. Este costo no es factible ni viable para el proyecto debido a las deficiencias encontradas

#### **4.3.2 Costo total del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del Banco 4672 proyecto 18**

La aplicación del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del Banco 4672 proyecto 18, ayudo a reducir las deficiencias encontradas inicialmente por medio del análisis de los parámetros de perforación y voladura, lográndose reducir el costo total de la perforación y voladura.

En las siguientes tablas se muestran el cálculo del costo de perforación y voladura por tonelada rota. del Banco 4672 proyecto 18

Tabla 18. *Parámetros generales del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18*

1.00-PARAMETROS GENERALES		
1.01-ZONA DE VOLADURA		1
1.02-BANCO		4672
1.03-PROYECTO		18
1.04-MINERAL BURD.	m	5.6
1.05-MINERAL ESPAC.	m	6.5
1.06-MINERAL TACO	m	3.1

Tabla 19. *Costo de la voladura del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18*

2.00-PARAMETROS DE VOLADURA		
2.01-TALADROS VOLADOS	Uni	128
2.02-VOLUMEN	M3	45,811
2.03- TONELAJE	Tn	120,941
2.04-CANT. TOTAL DEL EXPLOSIVO	kg	32,968
2.05-FACTOR DE POTENCIA	Kg/Tn	0.27
2.06-FACTOR DE CARGA	Kg/m3	0.72
2.7-COSTO DE VOLADURA		
2.71-GASTO EN EL PROYECTO	\$	18,594
<b>2.72-COSTO POR TONELADA ROTA</b>	<b>\$/Tn r</b>	<b>0.15</b>

Tabla 20. *Costo de la perforación del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18*

3.00-PARAMETROS DE PERFORACION		
3.01-TALADROS PERFORADOS	Uni	128
3.02-METROS PERFORADOS	m	1,152
3.03-VELOCIDAD DE PENETRACION	mp/h	45.52
3.04-TALADROS POR HORA	Tal /h	5
3.5-COSTO DE PERFORACION		
3.51-GASTO EN EL PROYECTO	\$	5,703
<b>3.52-COSTO POR METRO PERFORADO</b>	<b>\$/mp</b>	<b>4.95</b>

Tabla 21. *Costo de perforación y voladura (\$/TN R) del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18*

4.00-CONTROL COSTO DE PERFORACION Y VOLADURA (\$/TN R)		
4.01-DESPLAZAMIENTO DE CARA LIBRE	m	10
<b>4.02-COSTO TOTAL DE PER-VOL</b>	<b>\$/TNR</b>	<b>0.20</b>



### **Interpretación:**

Tras la aplicación del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18, se obtuvo los siguientes costos:

- El costo de voladura por tonelada rota es de 0.15 \$/t. Este costo refleja una reducción ya que se realizó en este diseño de malla de perforación y voladura, taladros de pre-corte el cual tuvo dos efectos reducir el consumo de explosivo, así como también mejorar la estabilidad de los taludes. Los taladros de producción la altura de carga es de 5.9 metros y los taladros de pre-corte es de 2 metros.
- El costo por metro perforado es de 4.95 \$/mp, este costo también refleja una reducción, debido a las mejoras operativas de la perforación mediante la capacitación de los operadores de las perforadoras corrigiendo el alineamiento de las pilas de los taladros y el control de la secuencia de perforación.
- El costo total de perforación y voladura por tonelada es de 0.20 \$/t, este costo es factible y viable para el proyecto debido a las optimizaciones realizadas

### **➤ Optimización del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del Banco 4672 proyecto 18, se obtuvo los siguientes costos:**

- El costo de voladura por tonelada rota se redujo en 0.53 \$/t tras el diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.
- El costo por metro perforado se redujo en 0.49 \$/mp, tras el diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del Banco 4672 proyecto 18.
- El costo total de perforación y voladura por tonelada se redujo en 0.63 \$/t tras el diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18.

## CONCLUSIONES

- 1 La zonificación según el mapeo geotécnico del banco 4672 del proyecto 18, presenta el tipo roca de dureza media, según este mapeo geotécnico es importante evaluar la secuencia de salida y aprovechar la energía del explosivo esto ayudara a mejorar la granulometría minimizando el daño del talud.
- 2 El estado situacional del antiguo diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 indica que se tuvo muchas deficiencias como es la fragmentación inadecuada del mineral tras el disparo, el mal alineamiento de taladros, generación de taladros tapados y movimientos innecesarios en el traslado del equipo de perforación.

El desarrollo del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18 se realizó con ayuda del modelo matemático de R. L. Ash, obteniéndose un *burden* práctico de 5.6 metros y un espaciamiento es de 6.5 metros con 119 taladros de producción. El consumo de explosivos por cada taladro de producción es de 233 kilos de Heavy Anfo (HA-55) y 9 taladros de precorte. El uso de explosivos por cada taladro de precorte es de 79 kilos de Heavy Anfo (HA-55), a fin de mejorar la estabilidad del banco tras el disparo, por medio de controles como el alineamiento de los taladros, control de los taladros tapados y el control del traslado del equipo de perforación.

El resultado en el estado situacional tras el análisis de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 03 da como resultado un factor de seguridad del 0.96, el que indica condiciones inestables, que es producto de las deficiencias de los trabajos operacionales mencionadas y el resultado tras la mejora de la estabilidad de taludes del banco 4672 proyecto 18 da como resultado un factor de seguridad del 1.13, el cual indican condiciones estables, que es producto de las mejoras operacionales realizadas.

- 3 El estado situacional del antiguo diseño de la malla de perforación y voladura del banco 4672 indica que el costo total de perforación y voladura por tonelada es de

0.83 \$/t, este costo no es factible ni viable para el proyecto debido a las deficiencias encontradas.

Tras la aplicación del diseño de malla triangular equilátera de la perforación y voladura del banco 4672 proyecto 18, se obtuvo un costo total de perforación y voladura por tonelada de 0.20 \$/t, este costo es factible y viable para el proyecto debido a las optimizaciones realizadas. La optimización del costo de voladura por tonelada rota se redujo en 0.53 \$/t, el costo por metro perforado se redujo en 0.49 \$/mp y el costo total de perforación y voladura por tonelada se redujo en 0.63 \$/t.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar un estudio geotécnico antes de realizar el cambio de diseño de malla de perforación y voladura, ya que esto es requerido para el replanteo de factores y parámetros de perforación y voladura. La anisotropía de la roca cambiante da como resultado a desarrollar estándares en la perforación y voladura, como también a desarrollar ajustes continuos de estos, para llegar a un diseño óptimo
2. Se recomienda desarrollar la perforación lo más exacta posible en parámetros de perforación como es el *burden* y espaciamiento con la finalidad de asegurar la voladura, la exactitud de la perforación, más el correcto desarrollo del diseño de voladura será reflejado en el disparo y nos dará como resultado una fragmentación homogénea, buenos pisos, y taludes estables.
3. Se recomienda desarrollar controles de todos los equipos del ciclo de minado, ya que las operaciones principales en minería a tajo abierto son la perforación, voladura, acarreo y transporte. Generalmente se debe considerar para desarrollar una mejora o una optimización de cualquier operación unitaria, no siempre aplica reducir costo directamente, sino que también se reduce los costos agregando un valor que al largo plazo se podrá ver los resultados de la mejora en los costos operacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONDORI, Christian. Diseño de perforación voladura de precorte mediante las características de macizo rocoso para evitar desprendimiento de bolones de la pared en bancos de producción en U.M. TACAZA - CIEMSA. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018, 166 pp.
2. SALINAS, Katherin y NINAHUANCA, Juan. Análisis de las variables operacionales de perforación y voladura, y su incidencia en el rendimiento de los equipos de carguío bajo el concepto mine to mill, en una mina a tajo abierto - 2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas).. Huancayo : Universidad Continental, 2022, 96 pp.
3. CAMPOS, Enerio y LOZANO, Ruben. Modelamiento y diseño de malla de perforación para controlar la dilución, en tajos de producción en una mina a cielo abierto 2021. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2021.
4. ZAMORA, Vidal. Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA). Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2022, 174 pp.
5. MUÑOZ, Miguel. Grado de desempeño de los Parámetros de Voladura, para mejorar la calidad operacional, en la Unidad Minera La Virgen – Huamachuco. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cerro de Pasco - : Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión , 2022, 113 pp.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y PLANEAMIENTO. *Estudio Reservas minerales*. Apurímac : Unidad Minera Utunsa, 2022.
7. READ , John y STACEY, Peter. *Guidelines for open pit slope design*. Australia : CSIRO, 2009.

8. EXSA S.A. *Manual practico de voladura*. [En línea] Lima : Edición especial, 2019. [Fecha de consulta: 24 de noviembre del 2022] Recuperado de: [https://www.academia.edu/23767654/MANUAL\\_PRACTICO\\_DE\\_VOLADURA\\_Edici%C3%B3n\\_especial\\_La\\_L%C3%ADnea\\_m%C3%A1s\\_Completa\\_para\\_Voladura\\_Das\\_Komplette\\_Sprengstoffprogramm\\_The\\_Most\\_Complete\\_Blasting\\_Line](https://www.academia.edu/23767654/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURA_Edici%C3%B3n_especial_La_L%C3%ADnea_m%C3%A1s_Completa_para_Voladura_Das_Komplette_Sprengstoffprogramm_The_Most_Complete_Blasting_Line)

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de Consistencia

Diseño de malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la unidad minera Utunsa

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿De qué manera influirá el diseño de malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa?	Diseñar la malla de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa.	El diseño de malla de perforación y voladura es factible y viable para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa.

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
<ul style="list-style-type: none"><li>¿De qué manera influirá el control del proceso de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa?</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Controlar el proceso de perforación y voladura, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>El control del proceso de perforación y voladura es viable, para mejorar la estabilidad de taludes, en la Unidad Minera Utunsa.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>¿De qué manera influirá el diseño de malla de perforación y voladura, para mejorar el costo por tonelada rota, en la Unidad Minera Utunsa?</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Diseñar la malla de perforación y voladura, para mejorar el costo por tonelada rota, en la Unidad Minera Utunsa.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>El diseño de malla de perforación y voladura es viable para mejorar el costo por tonelada rota, en la Unidad Minera Utunsa.</li></ul>

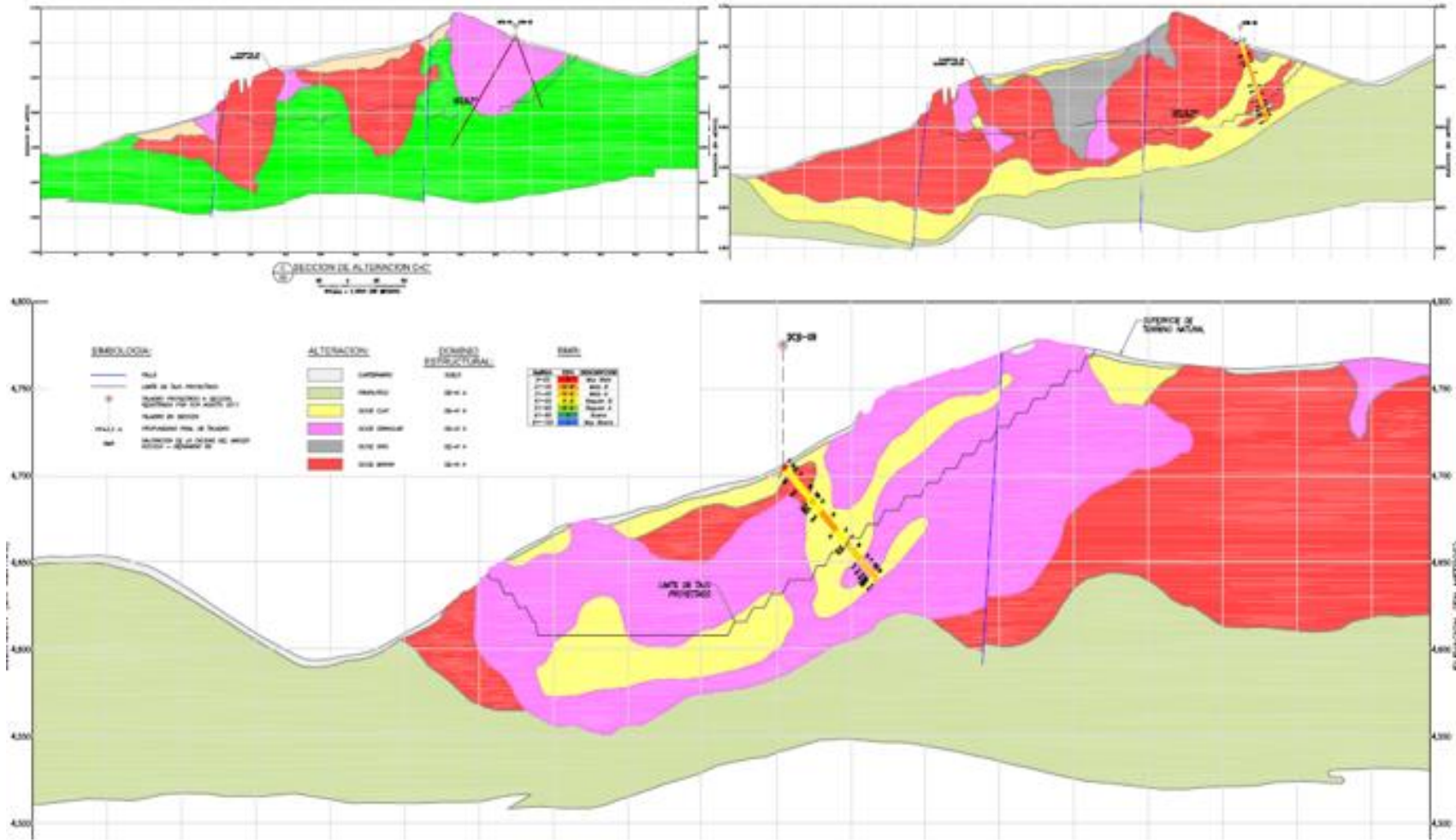


**Anexo 2**  
**PAD LIXIVIACIÓN de la unidad minera Utunsa**



*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

### Anexo 3 Geología local de la unidad minera Utunsa (6)



*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

**Anexo 4**  
**Perforadora DML**



*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

**Anexo 5**  
**Cargador frontal 992**



*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*

Anexo 6  
Camión FAM 502



*Tomada del departamento de Geología y Planeamiento de la unidad minera Utunsa (6)*