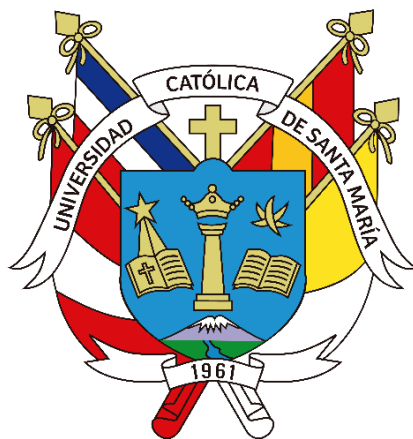


Universidad Católica Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**REDUCCIÓN DE FRAGMENTACION (P80) EN LA ZONA FASE 4 CON LA
APLICACIÓN DE GRAVILLA DE 2 PULGADAS EN LA UNIDAD MINERA
TOQUEPALA**

Tesis presentada por el Bachiller:

Márquez Chávez, Luis Orlando

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Minas

Asesor:

Mg. Bernedo Tito, Edwin José

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Octubre del 2023

Dictamen: 007915-C-EPIM-2023

Visto el borrador del expediente 007915, presentado por:

2013222681 - MARQUEZ CHAVEZ LUIS ORLANDO

Titulado:

**REDUCCIÓN DE FRAGMENTACION (P80) EN LA ZONA FASE 4 CON LA APLICACIÓN DE
GRAVILLA DE 2 PULGADAS EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR**



**01231603 - REATEGUI ORDOÑEZ FULTON CARLOS PASTOR
DICTAMINADOR**



**29721032 - DELGADO PONCE MARIA AZUCENA
DICTAMINADOR**



REDUCCIÓN DE FRAGMENTACION (P80) EN LA ZONA FASE 4 CON LA APLICACIÓN DE GRAVILLA DE 2 PULGADAS EN LA UNIDAD MINERA TOQUEPALA

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unam.edu.pe

Fuente de Internet

5%

2

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

4%

3

www.osinergmin.gob.pe

Fuente de Internet

2%

4

aprenderly.com

Fuente de Internet

1%

5

www.up.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

go.gale.com

Fuente de Internet

1%

7

www.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

8

jme.shahroodut.ac.ir

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mis padres Gladys y Angel quienes son mis pilares, mis hermanos Liz y Luis y para toda mi familia en especial a mis tíos Rossana y Zenon y mis primos Janet, Juan y Pepe, por inspirarme a superarme por su amor y apoyo incondicional que me brindan, los consejos que me dieron para poder superarme yo mismo.



AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a Dios por darme la fortaleza y energías necesarias para terminar una de mis metas trazadas.

Segundo agradecer al Ingeniero Edwin Bernedo por darme el soporte necesario para la elaboración de este proyecto.

Un agradecimiento adicional al Ingeniero Raúl Baldi por darme la autorización y permiso del uso de los datos del proyecto que realice en EXSA Site Toquepala.

Tercero siempre y nunca me cansaré de agradecer a mis padres Gladys y Angel por darme su apoyo en todos mis objetivos; y gracias a sus esfuerzos y sacrificios estoy donde quiero estar.

También agradezco a todo mi guardia de trabajo en el Site Toquepala por todo el apoyo y conocimiento dado al Ingeniero Yoshiro Miranda, Ingeniero Guido Chuquilin, Ingeniero Sergio Reyes, Sr. Felix Cornejo por motivarme a ser un mejor profesional; así mismo por brindarme el apoyo para desarrollar esta tesis en Site Toquepala.

Por último, agradezco a mis hermanos Luis y Liz por motivarme a finalizar la tesis, sus palabras de aliento para hacer sentir felices a mis padres; así mismo a mi amigo incondicional Juan Urday por sus palabras de apoyo a realizar todas mis metas, y a su vez a Xiomara Palomino, una niña especial que llegó a mi vida, me dio la fortaleza y motivo para terminar mi tesis.

RESUMEN

A nivel global, se han creado numerosas tecnologías relacionadas con la perforación y voladura para mejorar la fragmentación de la roca, satisfacer las demandas de las áreas de planta, reducir costos y elevar la seguridad. Estos métodos son vanguardistas y abarcan aspectos como tipos de explosivos, sistemas de carga, secuencias de retardos, entre otros. Todos tienen un objetivo común: maximizar el confinamiento y el uso de la energía del explosivo en el taladro, y por eso sugieren el uso de gravilla.

El Anuario Minero del Ministerio de Energía y Minas del Perú indica que la minería continúa siendo un motor vital para la economía peruana. Dentro de las operaciones mineras, las acciones de perforación y voladura son esenciales. Así, los explosivos son probablemente la herramienta más usada para la fragmentación de las rocas. Una fragmentación inadecuada puede llevar a la necesidad de voladuras adicionales o al rompimiento de rocas por medios mecánicos, lo que incrementa los costos. Un factor determinante en el resultado de una voladura es la granulometría del material resultante, y la forma más precisa de medirlo es a través del índice de fragmentación medio X50. Este índice se calcula mediante diversas técnicas; comúnmente, se basa en las fracciones que entran a la planta de tratamiento y que son separadas mediante subprocesos y mallas en distintas categorías.

La fragmentación de rocas es un tema central en numerosos estudios, dado que se le ve como el factor más crucial en la producción minera. Esto se debe a que influye directamente en los costos asociados con la perforación, voladura y también impacta la eficacia de otros subsistemas mineros, como la carga, el transporte, entre otras operaciones relacionadas.

El primer paso en la extracción de minerales es el proceso de perforación y voladura, por lo que es esencial obtener materia prima de alta calidad a un costo competitivo. En este estudio, se diseñó una metodología para mejorar las voladuras a cielo abierto en la mina Toquepala, utilizando dos tipos de tacos como instrumentos para lograr una fragmentación más eficiente del material. Los datos recabados brindaron información tanto cualitativa como cuantitativa de los resultados. Se estructuró el trabajo en tres etapas: herramientas para el diseño de voladura, herramientas para la monitorización y herramientas para el análisis de resultados. Al integrar estas tres etapas y analizar los datos, se logró optimizar el proceso minero, mejorando significativamente la etapa de fragmentación durante la voladura.

En el presente proyecto de investigación tuvo como objetivo reducir la fragmentación P80 en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas en la unidad minera Toquepala,

se obtuvo un promedio de hasta 16.72 cm de material fragmentado, quedando demostrado que al emplear gravilla 2 pulgadas se reduce hasta 11.30 cm del material fragmentado.

Palabras Clave: Fragmentación P80, gravilla 2 pulgadas, detritus



ABSTRACT

Globally, numerous drill and blast technologies have been developed to improve rock fragmentation, meet plant area demands, reduce costs and enhance safety. These methods are cutting-edge and cover aspects such as types of explosives, loading systems, delay sequences, among others. They all have a common objective: to maximize the confinement and use of explosive energy in the drill hole, and therefore suggest the use of gravel.

The Peruvian Ministry of Energy and Mines' Mining Yearbook indicates that mining continues to be a vital engine for the Peruvian economy. Within mining operations, drilling and blasting actions are essential. Thus, explosives are probably the most widely used tool for rock fragmentation. Inadequate fragmentation can lead to the need for additional blasting or rock breaking by mechanical means, which increases costs. A determining factor in the result of a blast is the granulometry of the resulting material, and the most accurate way to measure it is through the average fragmentation index X50. This index is calculated using various techniques; commonly, it is based on the fractions that enter the treatment plant and are separated by sub-processes and meshes into different categories.

Rock fragmentation is a central topic in numerous studies, as it is seen as the most crucial factor in mine production. This is because it directly influences the costs associated with drilling, blasting and also impacts the efficiency of other mining subsystems, such as loading, haulage, among other related operations.

The first step in mineral extraction is the drilling and blasting process, so it is essential to obtain high quality raw material at a competitive cost. In this study, a methodology was designed to improve open-pit blasting at the Toquepala mine, using two types of plugs as instruments to achieve a more efficient fragmentation of the material. The data collected provided both qualitative and quantitative information on the results. The work was structured in three stages: blasting design tools, monitoring tools and results analysis tools. By integrating these three stages and analyzing the data, the mining process was optimized, significantly improving the fragmentation stage during blasting.

The objective of this research project was to reduce P80 fragmentation in the phase 4 zone with the application of 2 inches gravel in the Toquepala mining unit. An average of up to 16.72 cm of fragmented material was obtained, demonstrating that the use of 2 inches gravel reduces up to 11.30 cm of fragmented material.

Key words: P80 fragmentation, 2 inches gravel, detritus.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO TEÓRICO	3
1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Justificación	6
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis	6
1.6. Variables	7
1.7. Tipo de Investigación.....	8
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Minería y Minerales.....	12
2.3. Obtención de minerales	13
2.4. Minería en el Mundo y Minería en el Perú.....	14
2.5. Procesos productivos en la obtención de minerales.....	14
2.6. Taladros	15
2.7. Voladura.....	16
2.8. Problemas de la voladura.....	17
2.9. Explosivos y accesorios utilizados actualmente en mina	18
2.10. Parámetros de Voladura.....	18
2.11. Burden.....	19
2.12. Espaciamiento	19
2.13. Malla	19
2.14. Control de proyecciones de bancos	20

2.14.1. Taco	21
2.14.2. Longitud de taco (T)	22
2.14.3. Flyrock.....	23
2.15. Fragmentación	23
2.15.1. Definición del índice P80 en fragmentación	23
2.16. Significación económica del taqueo	24
2.17. Teoría del confinamiento.....	25
2.18. Teoría del Cráter.....	25
2.19. Litología.....	26
2.19.1. Brecha Angular con alteración de Yeso Anhidrita (Bx-ga).....	26
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	27
3. METODOLOGÍA	28
3.1. Lugar en donde se desarrollará la investigación:.....	28
3.2. Ambientes por utilizar:	28
3.3. Muestra	29
3.4. Materiales.....	30
3.4.1. Material de campo	30
3.4.2. Equipos e instrumentación	30
3.5. Metodología.....	31
3.5.1. Paso 1. Se determinó el frente de minado en la zona de fase 4 en la unidad minera Toquepala para realizar las pruebas	31
3.5.2. Paso 2. Se realizó las tomas fotográficas para el análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de detritus como taco en la unidad minera Toquepala.....	41
3.5.3. Paso 3. Se realizó las tomas fotográficas para el análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala.....	44
3.6. Retención de Taco.....	52
3.6.1. Análisis de Retención de Taco con Detritus.....	52
3.6.2. Análisis de Retención de Taco con Gravilla de 2 Pulgadas.....	53
3.7. MODELO ESTADISTICO.....	54
3.7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL:.....	54
3.7.2. Modelo estadístico.....	54

CAPITULO IV RESULTADOS	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
4.1. Resultado 1. Se realizó el análisis de la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de detritus como taco en la unidad minera Toquepala	57
4.2. Resultado 2. Se realizó el análisis de la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala	60
4.3. Se realizó el análisis de los resultados obtenidos.....	62
4.4. RESULTADO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO:	64
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS.....	76
ANEXO 1 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RETENCIÓN DE TACO	77
ANEXO 2 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE TACO (DETRITUS)	78
ANEXO 3 ANÁLISIS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE TACO (GRAVILLA 2”)	79
ANEXO 4 COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE RETARDO CON LOS DISTINTOS TACOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de variables de estudio.....	7
Tabla 2 Descripción de los parámetros del planteo de la investigación.....	24
Tabla 3 Muestra para una población de 300 taladros.	29
Tabla 4 Muestra para una población de 189 taladros.	30
Tabla 5 Cálculo de la densidad aparente de la gravilla 2 pulgadas de Cantera Toquepala ..	45
Tabla 6 Pruebas de análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de detritus	55
Tabla 7 Pruebas de análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla 2”	55
Tabla 8 Datos obtenidos después de la voladura empleando detritus	58
Tabla 9 Datos obtenidos después de la voladura empleando gravilla 2 pulgadas.....	61
Tabla 10 Datos obtenidos después de la voladura empleando detritus y gravilla 2 pulgadas	63
Tabla 11 Análisis de Varianza de los resultados obtenidos	64
Tabla 12 Prueba Tukey de los resultados obtenidos	65
Tabla 13 Tabla de Target de P80, Producción y Dig Rate de Palas – Southern.....	69
Tabla 14 Comparación de tiempos de retardo con distintos tacos obteniendo 28.6% más tiempo de retardo	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Frente de minado de Pala 01 con presencia de bolonería a nivel de Taco.....	4
Figura 2 Bolonería acumulada en Fase 04.....	5
Figura 3 Proceso de obtención de minerales	13
Figura 4 Carga de taladros.....	15
Figura 5 Diseño de carga mostrando la mezcla explosiva, Booster, taco y accesorios.....	17
Figura 6 Elementos de la voladura	18
Figura 7 Banco de Voladura.....	20
Figura 8 Vista de un taqueo del taladro.....	21
Figura 9 Tipos de tacos.....	22
Figura 10 Ubicación de Fase 04, proyecto 2725 024 025, 17°14'15"S 70°36'58"W (UTM)	28
Figura 11 Fases de Minado de Mina Toquepala	31
Figura 12 Fases de Minado de Mina Toquepala	32
Figura 13 Malla 2725 024 025 de 6.5 m. x 6.5 m.	33
Figura 14 Diseño de Carguío del Proyecto 2725 024 025.....	34
Figura 15 Control de densidades de viajes de camiones mezcladores al proyecto 2725 024 025	36
Figura 16 Sectorización de tapado con gravilla y detritus.....	37
Figura 17 Frente de minado de Pala 01 donde se desarrolló el presente proyecto de investigación.....	38
Figura 18 Análisis en sistema del frente de minado.....	38
Figura 19 Procedimiento de Tapado de taladros con detritus y gravilla 2" proveniente de Cantera Toquepala.....	39
Figura 20 Evaluación de Tapado del proyecto 2725 024 025 con detritus y gravilla 2"	40
Figura 21 Frente de minado de Pala 01 (Zona de Tapado con detritus).....	41
Figura 22 Zona de Tapado de taco con detritus.....	42
Figura 23 Registros fotográficos aleatorios del frente de minado de Pala 01 empleando detritus, con ayuda de unas esferas como escala	43
Figura 24 Gravilla 2 pulgadas de la cantera Toquepala	44
Figura 25 Densidad aparente de la gravilla de Cantera Toquepala	45
Figura 26 Muestras aleatorias para análisis de granulometría.....	47
Figura 27 Análisis de las muestras aleatorias de gravilla 2 pulgadas con el programa Split Desktop.....	48

Figura 28 Evaluación de los taladros para la prueba con gravilla 2 pulgadas.....	49
Figura 29 Frente de minado de Pala 01 seleccionado para la prueba con gravilla 2 pulgadas	50
Figura 30 Registros fotográficos aleatorios del frente de minado de Pala 01 empleando gravilla 2 pulgadas con ayuda de unas esferas como escala.....	51
Figura 31 Diseño de taladro para prueba retención de taco con material detritus.....	52
Figura 32 Cálculo del tiempo retención de taco con material detritus.....	52
Figura 33 Diseño de taladro para prueba retención de taco con material gravilla de 2 pulgadas	53
Figura 34 Cálculo del tiempo retención de taco con material gravilla de 2 pulgadas.....	53
Figura 35 Curva granulométrica (P80) (Zona de Tapado con Detritus).....	57
Figura 36 Gráfico de la medida en cm (P80) de 05 registros fotográficos de material volado empleando detritus como taco	59
Figura 37 Curva granulométrica (P80) (Zona de tapado con gravilla de 2").....	60
Figura 38 Gráfico de la medida en cm (P80) de 05 registros fotográficos de material volado empleando gravilla 2 pulgadas como taco.....	62
Figura 39 Gráfico de promedio en cm (P80) usando detritus y gravilla 2 pulgadas como taco	63
Figura 40 Gráfico obtenido con el programa Infostat de tamaño promedio obtenido vs el tipo de material de material empleado como taco	66
Figura 41 Producción y Dig Rate de Pala 01 en material volado donde se utilizó detritus como Taco.	68
Figura 42 Producción y Dig Rate de Pala 01 en material volado donde se utilizó gravilla de 2 pulgadas como Taco.	68
Figura 43 Metodología de medición de Retención de Taco	77
Figura 44 Diseño de amarre y taladro donde se realizo la prueba de retención proyecto 2725 022 023 026 028.....	78
Figura 45 Medición de retención de taco (detritus) del taladro 137.....	78
Figura 46 Diseño de amarre y taladro donde se realizó la prueba de retención proyecto 2980 176 178	79
Figura 47 Medición de la retención de taco (gravilla 2 pulgadas) del taladro 335	79

INTRODUCCIÓN

“La perforación y la voladura juegan un papel vital en la minería a cielo abierto. Estas operaciones no solo afectan directamente el costo de producción sino también y de manera significativa los costos operativos generales” (Busuyi Thomas, 2009).

En los últimos diez años se han desarrollado varios métodos empíricos para mejorar la precisión de las voladuras utilizando programas y técnicas de análisis estadístico, que tienen una capacidad predictiva. La voladura es una operación compleja en la que muchos factores influyen en el resultado. Muchos autores no lograron establecer un diseño estándar de práctica en este campo. Los cambios a menudo varían de un sitio a otro. La optimización de las voladuras puede demorar meses o incluso años por medio de prueba y error. Por lo tanto, establecer una guía para operaciones de perforación y voladura óptimas seguramente será de gran ayuda en esta área de investigación. (Ghasemi et al., 2012)

En las tecnologías actuales en los últimos veinte años; varios investigadores han estudiado las posibles formas de optimizar las operaciones de perforación y voladura y han llegado a diferentes resultados. La mayoría de ellos sugirieron que todo el proceso debería ser modelado. Sin embargo, algunos de ellos todavía opinan que una mejor comprensión del sitio (taco) es lo más importante en el modelado y diseño de operaciones de perforación y voladura. (Neiman, 1983)

El proceso de voladura influye directamente en la fragmentación de la roca; la zona denominada taco o retacado, es rellenado comúnmente con material inerte. Este material suele ser el propio detritus de la perforación, aunque se han obtenido mejores resultados empleando gravilla como material de confinamiento. (Bernaola et al., 2013)

En mina Toquepala la Fase 04 (Zona de mineral de alta ley), los frentes de minado no cumplían la fragmentación adecuada para los posteriores procesos operativos de carguío y acarreo de material. Se analizó la fragmentación de Pala 01 en Fase 04 de Mina Toquepala, y se obtuvo frentes con una fragmentación inadecuada para continuar con los procesos siguientes en la obtención del cobre. Por lo tanto, en la presente investigación se analizó el factor taco, con el uso de gravilla de 2 pulgadas como taco para la reducción en la fragmentación (P80).

Se escogió el proyecto perforado 2725 024 025, una zona de macizo rocoso de alta dureza, con abundante presencia de agua, ya que este proyecto fue programado por el área de planeamiento para que la Pala 01 continúe con el carguío de material; en este proyecto se

tiene programado el carguío de taladros con explosivo Quantex 70/30, luego se sectorizó el proyecto para que una parte sea tapada con el detritus de los taladros y la otra con gravilla de 2 pulgadas proveniente de Cantera Toquepala.

Finalmente, se procedió con el análisis del frente de minado volado con las características descritas para así poder comprobar los resultados de la investigación realizada con el uso de gravilla de 2 pulgadas como taco en los taladros de este proyecto, obteniendo una reducción en la fragmentación (P80).





CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

En la unida minera Acumulación Toquepala en zona de Fase 04 (Fondo de mina), donde se encuentra el mineral de cobre con una ley más elevada, tenemos muchas deficiencias con la manera que venimos trabajando ya que las voladuras efectuadas no están arrojando los resultados esperados, presentado flyrocks, fuga de energía, mala fragmentación con presencia de bolones, generando contratiempos en la operación de carguío y acarreo, generando condiciones inseguras en zona de fase 04.

Esto se debe a que las condiciones del macizo rocoso en Fase 04, terreno con dureza elevada, abundante presencia de agua, y el material del taco utilizado, detritus, no ofrecía una resistencia adecuada al explosivo, dónde el explosivo al momento de trabajar y entrar en contacto con el macizo rocoso, la energía de este se iba por la zona de taco donde es la zona de menor resistencia así generando los malos resultados.

Figura 1

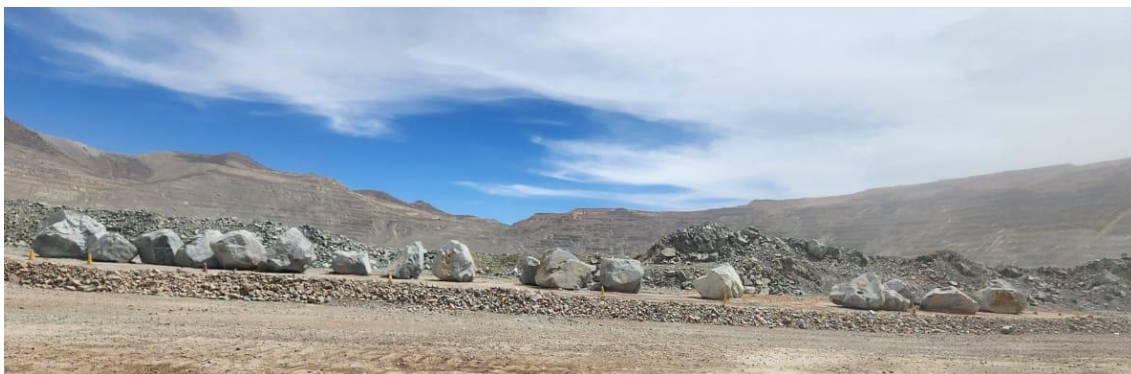
Frente de minado de Pala 01 con presencia de bolonería a nivel de Taco



Nota: Elaboración Propia.

Figura 2

Bolonería acumulada en Fase 04.



Nota: Elaboración Propia.

En la figura 1 y 2 se muestra los resultados negativos que obteníamos lo cual nos lleva a tener demoras operativas en los procesos siguientes del carguío y acarreo; aparte de realizar voladuras secundarias en la bolonería.

Por lo que el proceso de voladura influye directamente en la fragmentación de la roca; la zona denominada (taco o retacado), es rellenado comúnmente con material inerte. Este material suele ser el propio detritus de la perforación, aunque se han obtenido mejores resultados empleando gravilla como material de confinamiento. (Bernaola y otros, 2013)

Por lo que planteando la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco, obtendremos mejores resultados de fragmentación evitando demoras operativas en los siguientes procesos y evitar las voladuras secundarias.

1.2. Formulación del problema

Frente al problema de fragmentación, el presente proyecto pretende investigar la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la reducción de fragmentación en la zona fase 4 en la unidad minera Toquepala.

1.3. Justificación

En las minas a cielo abierto, la operación de voladura debe optimizarse de manera efectiva, lo que lleva a la minimización de los costos de producción mediante la aplicación de técnicas específicas. Sin embargo, no hay información adecuada en la literatura para vincular la voladura con las etapas de trituración. Por ello, el presente trabajo pretende mejorar la fragmentación (P80) con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas en el taco. En este sentido, la distribución de la fragmentación de la roca provocada por la voladura es el principal criterio determinante para proporcionar las condiciones óptimas para la operación de voladura en la minería.

Con la aplicación de la gravilla de 2 pulgadas como taco, se obtendrá una mejor producción y productividad en los siguientes procesos posteriores a la voladura, que son el carguío y acarreo de material para continuar con la obtención del cobre.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Reducir la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar que la aplicación de gravilla de 2 pulgadas en el taco nos dará mejores resultados de fragmentación.
- Analizar los resultados al medir la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de detritus con los resultados de medir la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala.

1.5. Hipótesis

Dado que se puede mejorar la fragmentación; se puede reducir la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas en la zona de taco.

1.6. Variables

“Para el presente trabajo de investigación de empleará un Diseño Estadístico Completamente aleatorio (DCA), con estadística no paramétrica, se aplicará ANVA para determinar la diferencia entre los tratamientos, adicionalmente se aplicará la prueba Tukey” (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Para el establecimiento del dato blanco (sin aplicación de ningún tipo de taco) se tomará el (P80 sin gravilla) con el fin de ver la diferencia con el taco de gravilla 2 pulgadas.

Se realizará un análisis de correlación con el fin de determinar si las variables están relacionadas o no. Se determinará el Coeficiente de correlación de Spearman que es empleado en variables cuantitativas no normales o cuando una variable es cuantitativa y otra cualitativa con datos <30 . (Alquicira, 2017)

Para el procesamiento de datos se usará el programa estadístico Infostat versión 2020.

Las variables e indicadores se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Cuadro de variables de estudio

Variable Independiente	Indicador	Unidades
Tipo de taco	Altura de taco	m
Variable Dependiente	Indicador	Unidades
Dependientes	Reducción de la fragmentación	cm

Nota: Elaboración Propia.

La variable independiente es el "Tipo de taco", cuyo indicador de medición es la "Altura de taco" y se mide en metros (m). Por otro lado, la variable dependiente es denominada "Dependientes", y su indicador de medición es la "Reducción de la fragmentación", la cual se mide en centímetros (cm)

1.7. Tipo de Investigación

“La presente investigación es de tipo investigación aplicada, puesto que el análisis se realizará a nivel práctico, los resultados obtenidos pueden servir posteriormente para poder realizar una investigación adaptativa. En cuanto al nivel de investigación es Analítica – Comparativa” (Hernández et al., 2010).





CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el artículo científico denominado *An Evaluation on the Impact of Ore Fragmented by Blasting on Mining Performance* publicado el 2022 se comenta que en las minas a cielo abierto, la operación de voladura debe optimizarse de manera efectiva, lo que lleva a la minimización de los costos de producción mediante la aplicación de técnicas específicas. Sin embargo, no hay información adecuada en la literatura para vincular la voladura con las etapas de trituración. Para ello, el trabajo concluye que los parámetros efectivos de la fragmentación de la roca (RFD) provocada por la voladura se consideran como el principal criterio determinante para proporcionar las condiciones óptimas en la operación de voladura en la mina de cobre Sarcheshmeh. Al realizar un análisis estadístico de los datos experimentales, se optimizaron los parámetros operativos que afectan a la voladura y se emplearon para determinar el modelo de mejor ajuste. Por lo tanto, el enfoque de esta investigación se limitó a los parámetros efectivos para la eficiencia de las voladuras. Según el análisis de los datos obtenidos de 20 voladuras en diferentes condiciones de operación, el diámetro del pozo fue de 241,3 mm. (Nikkhah y otros, 2022)

En el artículo científico denominado *Un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la Voladura de Rocas* publicado el 2018 nos explica el objetivo del nuevo enfoque predictivo de la fragmentación se sustenta en que dicha investigación nos proporcionaría una optimización en las operaciones minero-metalúrgicas, porque entregando una óptima fragmentación requerida para los procesos de Molienda, se podría minimizar sus tiempos y maximizar su productividad. (Linares, 2018)

En el artículo científico denominado *Application of artificial intelligence techniques for predicting the flyrock distance caused by blasting operation* publicado el 2012 nos explica que las operaciones de voladura son un problema crucial y complejo en la industria minera; su predicción juega un papel importante en la minimización de los peligros relacionados. En los últimos años se han desarrollado varios métodos empíricos para la mejora en la fragmentación y predicción de la distancia de flyrock utilizando técnicas de análisis estadístico, que tienen una capacidad predictiva. Las técnicas de inteligencia artificial (IA) ahora se utilizan como técnicas estadísticas alternativas. Se desarrollaron dos modelos predictivos mediante el uso de técnicas de

para predecir la distancia de flyrock en la mina de cobre Sungun de Irán. (Ghasemi y otros, 2012)

En la tesis titulada Grado de desempeño de los Parámetros de Voladura, para mejorar la calidad operacional, en la Unidad Minera La Virgen – Huamachuco publicado en el año 2022, se obtuvieron los siguientes resultados realizado en los tajos minados, se obtuvo como valor un P80 mínimo de 5.48 y máximo de 8.44, mientras que en el P50 el tamaño mínimo fue de 2.17 y el máximo de 4.74. (Muñoz, 2022)

En la tesis titulada Aplicación de stemming de 2 pulgadas utilizada como taco, para mejorar la fragmentación en las zonas de brechas con mineral de alta ley en la unidad minera Cuajone” publicado en el año 2019 se determinó el P80 de los proyectos tapados con material detritus obteniendo promedios de 10.64 pulgadas, los proyectos tapados con grava el P80 fue de 7.69 pulgadas de un total de 5330 fotos analizadas con Split online, el P80 de los proyectos tapados con grava es 28% menor que los proyecto tapados con detritus, reduciendo en 2.95 pulgadas el 80 % pasante, mejorando notablemente la fragmentación. (Chavez, 2019)

En la tesis titulada Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas publicado en el año 2008, se obtuvieron los siguientes resultados de nivel de fragmentación satisfactorios, particularmente en la segunda prueba con un 90,7% de los fragmentos con tamaños menores a 0,15 m y por lo tanto son adecuados para el proceso de lixiviación, porque para este proceso se requiere que el material fragmentado tenga tamaños reducidos. (Ames, 2008)

2.2. Minería y Minerales

La minería es una actividad extractiva que se desarrolla en todo el mundo. Tiene un rol fundamental al ser fuente de crecimiento, sustento y desarrollo, es uno de los sectores productivos más importantes de la economía mundial, ya que brinda, entre otras cosas, productos cotidianos necesarios para el desarrollo de las actividades diarias. (Valenzuela, 2013)

“Ha jugado un papel preponderante desde los orígenes de la humanidad, a partir de que el hombre comenzó a desarrollarla para elaborar herramientas que mejoraran su calidad de vida y permitieran su subsistencia” (Tamayo y otros, 2017).

“Los minerales son toda sustancia inorgánica en estado sólido que posee una estructura interna definida, composición química establecida y propiedades físicas uniformes que varían dentro de límites determinados” (Rivera, 2005).

Además, son asociaciones de elementos químicos, entre ellos, metales y no metales, los cuales se encuentran formando rocas en las diversas capas de la corteza terrestre, altas concentraciones de mineral forman depósitos denominados yacimientos. Un yacimiento de mineral es una circunstancia excepcional en la naturaleza, pues su nivel de concentración es superior a lo que normalmente se encuentra en la corteza terrestre. (Sepúlveda, 2005)

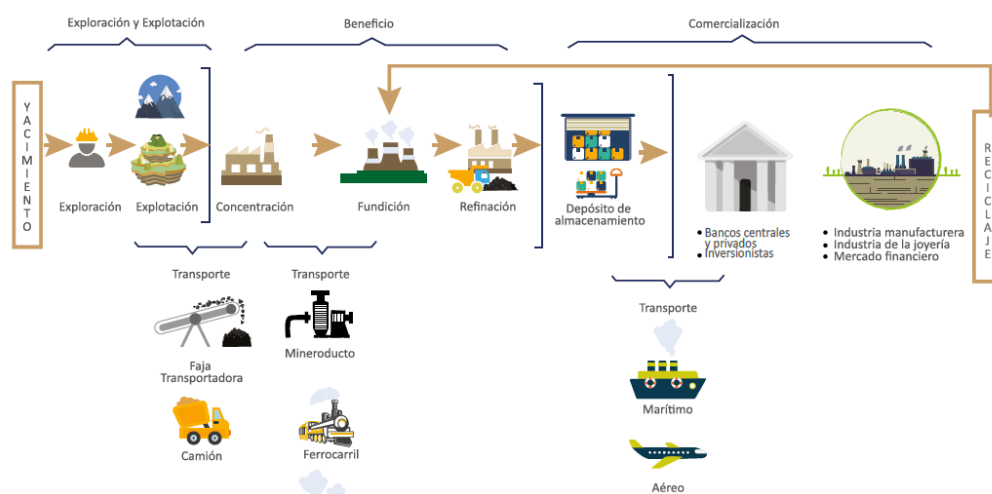
“El uso de los minerales es muy variado, en la siguiente imagen se aprecia algunos de los principales usos del cobre, zinc y plomo” (Tamayo y otros, 2017).

2.3. Obtención de minerales

A nivel industrial, la cadena de valor de la minería (minería metálica y no metálica) está dividida en tres segmentos: 1) la exploración y explotación, 2) el beneficio y 3) la comercialización. El segmento explotación también incluye el transporte interno del mineral, el cual puede realizarse en camiones, vagones o fajas transportadoras desde el yacimiento hasta la planta concentradora. El segmento del beneficio incluye desde la concentración del mineral hasta su transformación en refinados; en el caso de la minería no metálica la etapa de beneficio solo incluye actividades primarias de chancado y lavado. Dentro del segmento de beneficio se considera el transporte externo desde la planta concentradora hasta la planta fundidora mediante camiones, ferrocarriles, minero ductos y transporte marítimo. Finalmente, el segmento de la comercialización incluye el almacenamiento, el embarque y la venta de los productos mineros a los consumidores finales. (Sepúlveda, 2005)

Figura 3

Proceso de obtención de minerales



Nota: Tamayo y otros, (2017).

En la figura número 3 se observa el proceso de obtención de minerales comienza con la exploración para identificar yacimientos. Una vez localizados, se extraen mediante minería a cielo abierto o subterránea. Posteriormente, el mineral es triturado, molido y sometido a procesos de concentración para separar el mineral de interés de impurezas. Finalmente, se refina para obtener el metal deseado y se transporta para su venta o uso. Tras la extracción, es crucial rehabilitar el área minada para minimizar el impacto ambiental.

2.4. Minería en el Mundo y Minería en el Perú

Chile, Australia, China y Perú son los principales países con mayores reservas y producción en el mundo. “La minería contribuye con el crecimiento económico, crea empleo directo e indirecto y genera rentas para la sociedad”. Los metales se pueden negociar a precios spot y a precios futuros en los mercados financieros internacionales, siendo las principales plazas bursátiles Reino Unido, Estados Unidos y China. (Tamayo y otros, 2017)

La minería es un motor fundamental del crecimiento económico del Perú. A inicios del boom minero, en el 2005, las rentas por minería representaban el 12,7% del PBI total del país. Sin embargo, como consecuencia de la caída en la demanda de los principales commodities, la crisis financiera internacional, el estancamiento de los principales proyectos de inversión, entre otros motivos, aquellas disminuyeron hasta llegar al 9,8% en el 2017. (Narrea, 2018)

“Los beneficios de la minería en el país se reflejan en su contribución a las exportaciones y a la recaudación tributaria. Con excepción del 2014, durante los últimos 10 años las divisas por esta actividad representaron en promedio el 60% de las exportaciones nacionales” (Charles, 2015).

2.5. Procesos productivos en la obtención de minerales

A continuación, se realiza una pequeña descripción sobre el proceso de extracción de mineral a Tajo Abierto; donde se expondrá de manera reducida los procesos unitarios por los cuales se obtiene los distintos minerales; seguidamente se realiza una descripción detallada de los procesos que representan el presente trabajo de investigación.

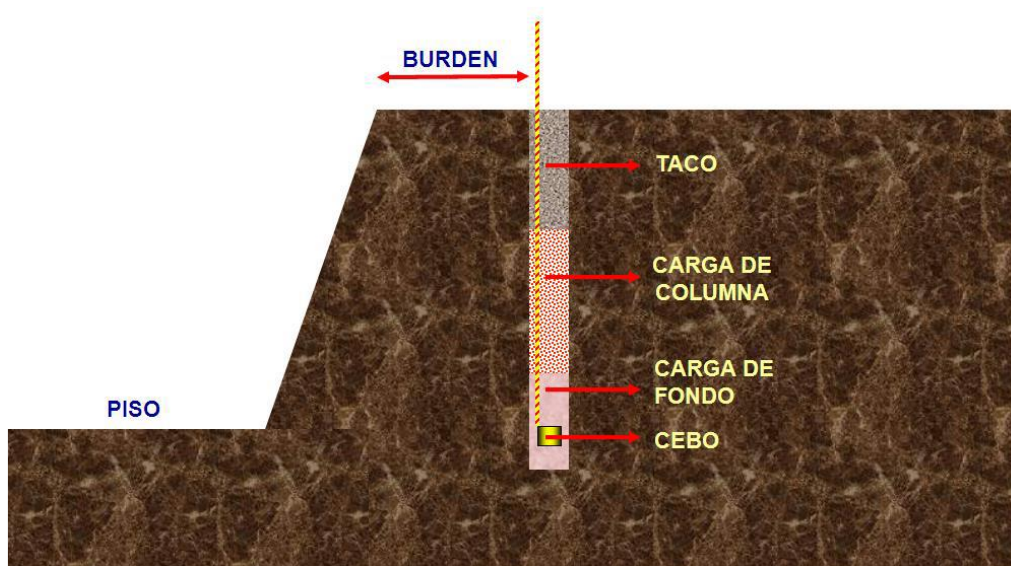
- Explotación.
- Chancado.
- Molienda y remolienda.
- Flotación.
- Lixiviación.
- Fundición.
- Refinación. (Vassallo, 2008)

2.6. Taladros

Se debe tener en cuenta la carga y cebado de los taladros para los diversos diámetros de taladro en superficie, así como la ubicación del detonador, del cordón detonante. Debemos tener en cuenta el taco, carga de columna, carga de fondo, el cebo y la forma como se disponen estos elementos. (EXSA, 2020)

Figura 4

Carga de taladros.



Nota: EXSA, (2020).

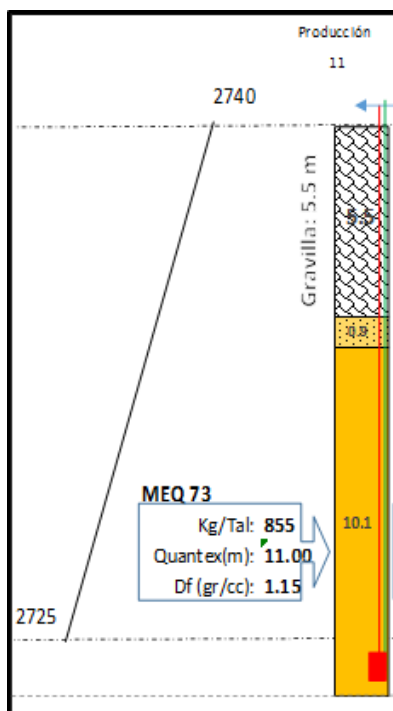
En las operaciones de voladura, el piso es la base del taladro. El burden indica la distancia entre el taladro y la roca libre más cercana, determinando la cantidad de explosivo requerido. El taco sella la perforación tras cargar el explosivo, mientras que la carga de columna es el explosivo principal en el taladro. La carga de fondo se sitúa en la base del taladro para iniciar la ruptura, y el cebo, conectado a un detonador, inicia la detonación del explosivo. Estos componentes aseguran una voladura controlada y eficiente.

2.7. Voladura

En la etapa de extracción esta actividad es una de las principales para poder pasar a las siguientes actividades en la obtención del mineral. Este proceso consiste en fragmentar, reducir el tamaño de las rocas para que después con el carguío y acarreo de minerales se lleve a planta para su posterior procesamiento. Esta actividad tiene que dar un tamaño de roca adecuado para que se facilite las posteriores actividades. (Lopez y otros, 2004)

La voladura superficial es la que se lleva a cabo en la superficie de la tierra y que comprende una serie de procesos o elementos, como se detalla a continuación:

- a) Bancos para explotación minera y preparación de agregados para construcción.
 - b) Excavaciones en obras de ingeniería civil: zanjas, canales, cimentaciones.
 - c) Obras de ingeniería vial: cortes a media ladera, terraplenes, piedra dimensionada para escolleras y otros.
 - d) Pre-voladuras de aflojamiento para remover terreno sin desplazarlo.
 - e) Demoliciones y reducción de pedrones.
 - f) Voladura de máximo desplazamiento para proyectar un gran volumen de roca a distancia.
 - g) Voladura de cráter con taladros cortos de gran diámetro para desbroce.
- (EXSA, 2020)

Figura 5
Diseño de carga mostrando la mezcla explosiva, Booster, taco y accesorios


Nota: Elaboración Propia.

El diseño de carga en voladura combina una mezcla explosiva (como ANFO) como principal agente rompedor, seguida por un booster para intensificar la detonación. Después de cargar estos elementos, la perforación se sella con un taco, hecho de materiales inertes como arcilla o arena, para contener la explosión. Los accesorios, incluyendo detonadores y mechas, se usan para iniciar y controlar la explosión. La correcta disposición de estos componentes asegura una detonación segura y efectiva en la minería o construcción.

2.8. Problemas de la voladura

Cuando se realiza la voladura en las diferentes minas se reducen una serie de inconvenientes, estos problemas se pueden presentar en los siguientes aspectos:

- Eyección de los taladros - Lanzamiento del material - Poco retacado - Mala pirotecnia
- Trayectoria del material - Velocidad – Granulometría. (Marcos, 2021)

2.9. Explosivos y accesorios utilizados actualmente en mina

Los explosivos que se usa para voladura de producción es el booster y los accesorios (detonador electrónico y un detonador no eléctrico como back up). Se considera explosivo a la mezcla de agentes, como el nitrato de amonio, la emulsión, el sensibilizante el nitrito de sodio que es el agente que gasifica, y hace que la mezcla esponje, el booster que va a un metro de la columna explosiva junto con los accesorios para iniciar la voladura. (Lopez y otros, 2004)

2.10. Parámetros de Voladura

Figura 6

Elementos de la voladura



Nota: EXSA, (2020).

En la voladura, la altura del banco define la verticalidad de la sección a detonar, mientras que la longitud del taladro indica su profundidad total, considerando la altura del banco más la sobreperforación. Esta sobreperforación garantiza una adecuada ruptura en la base de la roca. El diámetro del taladro determina la cantidad de explosivo a cargar y varía según el equipo y las necesidades del proyecto. Estos elementos son vitales para una detonación efectiva y segura.

2.11. Burden

“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” (Lara, 2013).

2.12. Espaciamiento

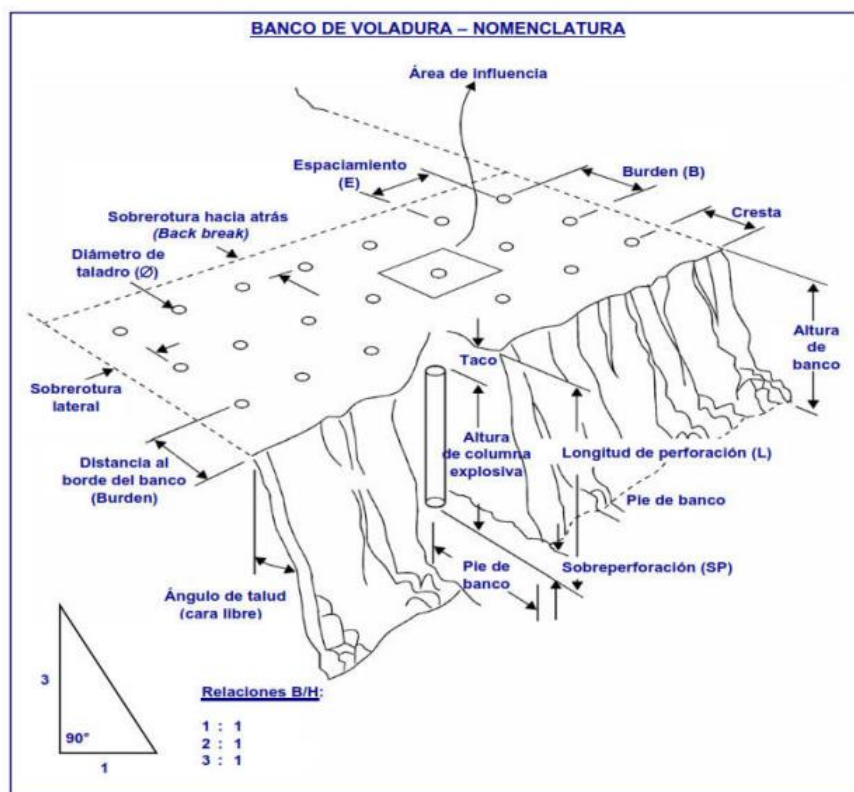
“Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo detonador o con detonadores diferentes y mayores en la misma fila” (Lara, 2013).

2.13. Malla

El diseño de las mallas para voladura, son avances desarrollados a partir múltiples pruebas realizadas y cuyos resultados son ajustados a ecuaciones matemáticas, por estos motivos es muy útil el conocer de forma previa, la granulometría de una pila de material volado. Así mismo establece que el objetivo de una voladura, es aquella en la que se buscan resultados óptimos en la fragmentación y un desplazamiento controlado del material. (Torres, 2017)

Para lograr este objetivo y evaluar el correcto rendimiento de una voladura, se deben tener en cuenta tres factores fundamentales, que son claves para un correcto diseño y control de las voladuras, las cuales son:

- a) Una correcta cantidad de energía
- b) Una correcta distribución de energía
- c) Un correcto confinamiento de energía. (Linares, 2018)

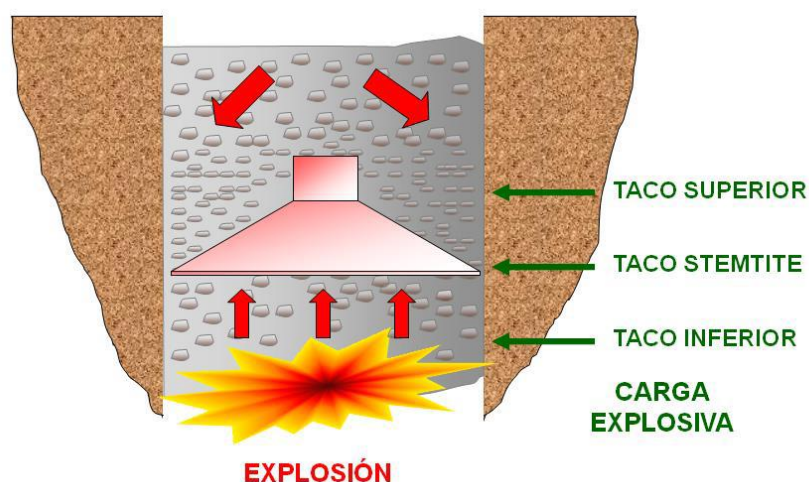
Figura 7
Banco de Voladura


Nota: EXSA, (2020).

En la figura 7 se presenta el banco de voladura es una sección vertical de roca o tierra en una mina o cantera preparada para detonar. Su altura se determina según el equipo de perforación, la eficiencia de extracción, las características geológicas del sitio y las consideraciones de seguridad. Es esencial para las operaciones mineras, ya que facilita la extracción eficiente del material y requiere una planificación cuidadosa para garantizar la seguridad.

2.14. Control de proyecciones de bancos

“El control de las proyecciones de los bancos se realiza mediante los tacos, más conocidos como taqueo, estos tacos pueden estar constituidos por diversos elementos como, esfera sólida, cono expandible, bolsa de aire expandible, tapón de detritus” (Marcos, 2021).

Figura 8
Vista de un taqueo del taladro


Nota: EXSA, (2020).

El taqueo del taladro es el sellado de la parte superior de una perforación después de cargarla con explosivo, utilizando materiales inertes como arcilla o arena. Este proceso es esencial para dirigir la fuerza de la explosión hacia la roca, evitando la liberación vertical incontrolada de gases y fragmentos, garantizando así una detonación segura y eficiente.

2.14.1. Taco

La presente investigación está abocada a este parámetro de la voladura. Es la diferencia de tiempo entre el inicio de la eyección del material de taco y la detonación de la columna explosiva, es decir; es el diferencial de tiempo desde el momento en que se produce la detonación de la carga explosiva y el instante en que el material del taco comienza a sufrir la deformación del material o eyección del taco. Cuanto mayor es el diferencial de tiempo, mayor es la retención del taco y como beneficio se tiene mayor aprovechamiento de la energía explosiva para mejorar la fragmentación y reducir eyección de material, pérdida de energía explosiva. (Torres, 2017)

Figura 9
Tipos de tacos


Nota: EXSA, (2020).

Los tacos se utilizan en voladuras para sellar perforaciones cargadas con explosivos. Los tipos incluyen la esfera sólida, que proporciona un sello robusto; el cono plástico expandible, que se adapta al diámetro de la perforación; la bolsa de aire expandible, ideal para diámetros irregulares o condiciones húmedas; y el tapón de detritos, hecho de materiales desechables como arcilla. La elección del taco varía según las condiciones del sitio y las características de la voladura.

2.14.2. 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 la boca del taladro y más bien trabajen en la fragmentación y desplazamiento de la roca en toda la longitud de la columna de carga explosiva. Si no hay taco los gases se escaparán a la atmósfera arrastrando un alto porcentaje de energía, que debería actuar contra la roca. Si el taco es insuficiente, además de la fuga parcial de gases se producirá proyección de fragmentos, caracterización y fuerte ruido por onda aérea. Si el taco es excesivo, la energía se concentrará en fragmentos al fondo del taladro, dejando gran cantidad de bloques o bolones en la parte superior, especialmente si el fisuramiento natural de la roca es muy espaciado, resultando una fragmentación irregular y poco esponjada y adicionalmente se generará fuerte vibración. En la práctica su longitud usual es de $\frac{1}{3}$ del largo total del taladro. (Valenzuela, 2013)

2.14.3. Flyrock

“Proyección de roca, o roca volante en voladura es simplemente un fragmento de roca arrojada al aire con violencia como resultado de una explosión, por tanto, con gran potencial de causar daños” (Torres, 2017).

2.15. Fragmentación

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción. (Torres, 2017)

Este mecanismo aún no está plenamente definido, existiendo varias teorías que tratan de explicarlo entre las que mencionamos a:

- Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre)
- Teoría de expansión de gases
- Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases)
- Teoría de torque (torsión) o de cizallamiento
- Teoría de caracterización
- Teoría de energía de los frentes de onda de compresión y tensión
- Teoría de liberación súbita de cargas. (Valenzuela, 2013)

2.15.1. Definición del índice P80 en fragmentación

“Es el índice que señala el fragmento de mayor tamaño, del cual el 80 % de los demás fragmentos de la voladura se encuentran por debajo de su medida, y el 20% restante lo supera en tamaño” (Valenzuela, 2013).

2.16. Significación económica del taqueo

A mayor tiempo de retención mayor transferencia de impacto; por tanto, mayor trituración y desplazamiento de la roca. Mayor trituración significa mayor productividad del disparo, ya que una mayor proporción de fragmentos menores “ideales” representa ahorros sustanciales en las fases subsecuentes a la voladura como: Mayor facilidad y rapidez en el paleo y menor desgaste de los componentes mecánicos de los equipos de carguío. Menor tiempo en horas-hombre laboradas en la operación total de minado y acarreo. Menor número de viajes para acarrear el volumen de roca arrancada, al llenarse más compactamente las tolvas y cucharas de los volquetes, scoops y carros mineros. Menor número de viajes significa menor consumo de combustible, energía, horas de tarea y gastos de mantenimiento por menor maltrato que el que ocurre al levantar y acarrear material “grueso”. Menor necesidad de voladura secundaria o de empleo de martillos rompedores para fragmentos sobredimensionados. Un taqueo eficiente posibilita reducir el número de taladros por disparo, por el mejor control de la energía. (Marcos, 2021)

Tabla 2

Descripción de los parámetros del planteo de la investigación.

Tipo de Taco	Kg Taladro	Altura de Banco	Altura de Taco	Altura de Carga
Detritus	855 Kg	15 m	5.5 m	11 m
Gravilla 2"	855 Kg	15 m	5.5 m	11 m

Nota: Elaboración Propia.

La Tabla 2 presenta una descripción de los parámetros considerados en el planteo de una investigación relacionada con voladuras. Se contrastan dos tipos de tacos: Detritus y Gravilla 2 pulgadas. En ambos casos, se utiliza una carga de 855 Kg por taladro.

2.17. Teoría de Confinamiento

“Es una condición para lograr el mejor acoplamiento con la pared interior que permita transferir la onda de choque a la roca. Mezcla explosiva suelta, presencia de vacíos o desacoplamiento disminuyen enormemente este efecto. Para que el explosivo trabaje correctamente es necesario que los gases generados estén confinados en el taladro de modo que la pérdida de energía por este hecho sea mínima; acá el material usado como taco es de vital importancia ya que el material nos dará mayor o menor confinamiento de acuerdo a sus características”. (Bernaola, 2013)

2.18. Teoría del Cráter

“Dada la geometría de la voladura, la rotura de la roca por acción del explosivo se produce en forma de cráter, actuando tanto sobre la cara libre del banco (paralela al taladro), como sobre la superficie”. (Vásquez, 2009)

“Se trata, en este caso bastante simple, de estimar la cantidad de explosivo requerida para crear una cavidad o cráter de una profundidad dada del modo más eficiente posible. Dicho de otra forma, optimizar la relación entre volumen de roca removida (m³) y la cantidad de explosivo utilizado (kg), considerando obviamente las exigencias en cuanto a la granulometría esperada. La solución de este problema se basa en lo que se denomina ley de similitud”. (Lang, 1983)

$$V = K * \frac{D}{12}$$

V: Taco (pies)

D: Diámetro de perforación (pulgadas)

K: Coeficiente dependiente de la presión de explosión y la resistencia de la roca

TIPO DE EXPLOSIVO	CLASE DE ROCA		
	BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad (0.8-0.9 g/cm ³) y baja potencia	30	25	20
Media densidad (1-1.3 g/cm ³) y media potencia	35	30	25
Alta densidad (0.8-0.9 g/cm ³) y alta potencia	40	35	30

2.19. Litología

2.19.1. Brecha Angular con alteración de Yeso Anhidrita (Bx-ga)

Es una roca intrusiva compuesta por apófisis stocks del batolito andino de la cordillera Sur Occidental de los Andes. Relacionadas a eventos explosivos, donde todos los fragmentos son angulares y están cementados por una mineralización de cuarzo, pirita, calcopirita, bornita, molibdenita. La alteración y mineralización de los fragmentos depende del tipo de roca.

Esta litología tiene los siguientes parámetros en el macizo rocoso:

RMR: 65

RQD: 85

FF (Frac/m): 2

Resist. Compresión (MPa): 86.20

Resit. Tracción (MPa): 8.13

Bloq Size (m): 0.75

Young Est. (GPa) D=0: 36.40

Young Est. (GPa) D=1: 18.20

V (Razon de Poisson): 0.20



CAPITULO III

METODOLOGÍA

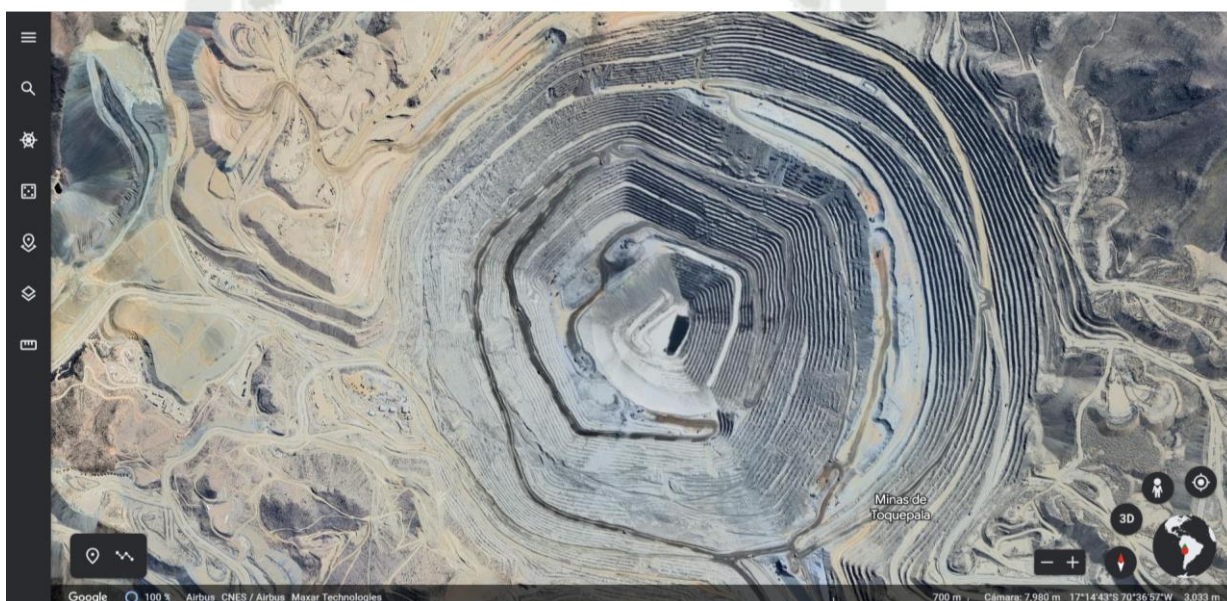
3. METODOLOGÍA

3.1. Lugar en donde se desarrollará la investigación:

Este análisis se llevó a cabo en la Unidad minera de almacenamiento Toquepala, ubicada en el distrito de Ilabaya, en la provincia de Jorge Basadre y en el departamento de Tacna.

Figura 10

Ubicación de Fase 04, proyecto 2725 024 025, 17°14'15"S 70°36'58"W (UTM)



Nota: Elaboración Propia.

3.2. Ambientes por utilizar:

Se empleó la zona donde teníamos problemas de fragmentación que la fase 4, zona de mineral (Figura 10), de la Unidad minera acumulación Toquepala, distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre y departamento de Tacna.

3.3. Muestra

Para el desarrollo de la investigación se planteó a las áreas involucradas que se tenía que realizar la prueba a 95 taladros con un nivel de confianza de 90% y un margen de error de 7%.

Tabla 3

Muestra para una población de 300 taladros.

N	300
Z (90%)	1.645
P	50.00%
Q	50.00%
e	7.00%
n	94.77

Nota: Elaboración Propia.

La prueba se realizó en una malla perforada entregada por el área de perforación y voladura en coordinación con el área de planeamiento en zona de fase 04 proyecto 2725 024 025 para Pala 0, ya que según el plan semanal continuaba esa voladura, este proyecto se encuentra en la litología de Brecha Angular con alteración de Yeso Anhidrita (Bx-ga), con las características del macizo rocoso expuestas en el marco teórico; se verificó encontrando 189 taladros; así obteniendo que la muestra ideal para dicha prueba sería realizar el tapado con gravilla de 2 pulgadas a 80 taladros.

Tabla 4
Muestra para una población de 189 taladros.

N	189
Z (90%)	1.645
P	50.00%
Q	50.00%
e	7.00%
n	80.03

Nota: Elaboración Propia.

3.4. Materiales

3.4.1. Material de campo

- Hoja de apunte
- Lápiz
- Escala para medir fragmentación
- Lapicero

3.4.2. Equipos e instrumentación

- Cámara fotográfica de alta calidad (Cámara Canon T7)
- Laptop con programa Split Desktop
- Cámara de alta velocidad (MREL - Blaster Ranger II Lt) Velocidad de Grabación: 253, 634, 921, 1,667 fotos por segundo

3.5. Metodología

3.5.1. Paso 1. Se determinó el frente de minado en la zona de fase 4 en la unidad minera Toquepala para realizar las pruebas

Actualmente, la mina Toquepala viene trabajando en tres (03) Fases; fase 04 (zona de mineral), fase 05 (zona de mineral y lixiviable) y fase 06 (zona de desmonte).

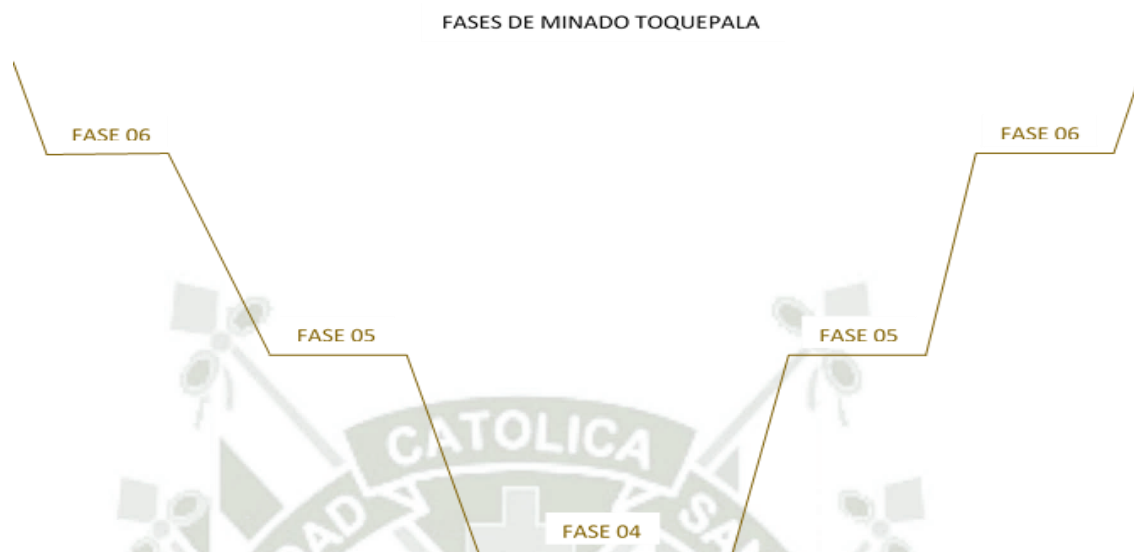
Figura 11

Fases de Minado de Mina Toquepala



Nota: Elaboración propia.

La mina Toquepala, situada en el sur del Perú, opera en tres fases distintas de minado: la Fase 04, centrada en la extracción de mineral; la Fase 05, que combina la extracción de mineral y zonas lixiviables para maximizar el aprovechamiento del mineral; y la Fase 06, dedicada a la zona de desmonte, que involucra la gestión de material sin valor comercial. Estas fases evidencian una estrategia minera detallada que busca eficiencia y sostenibilidad en sus operaciones.

Figura 12
Fases de Minado de Mina Toquepala


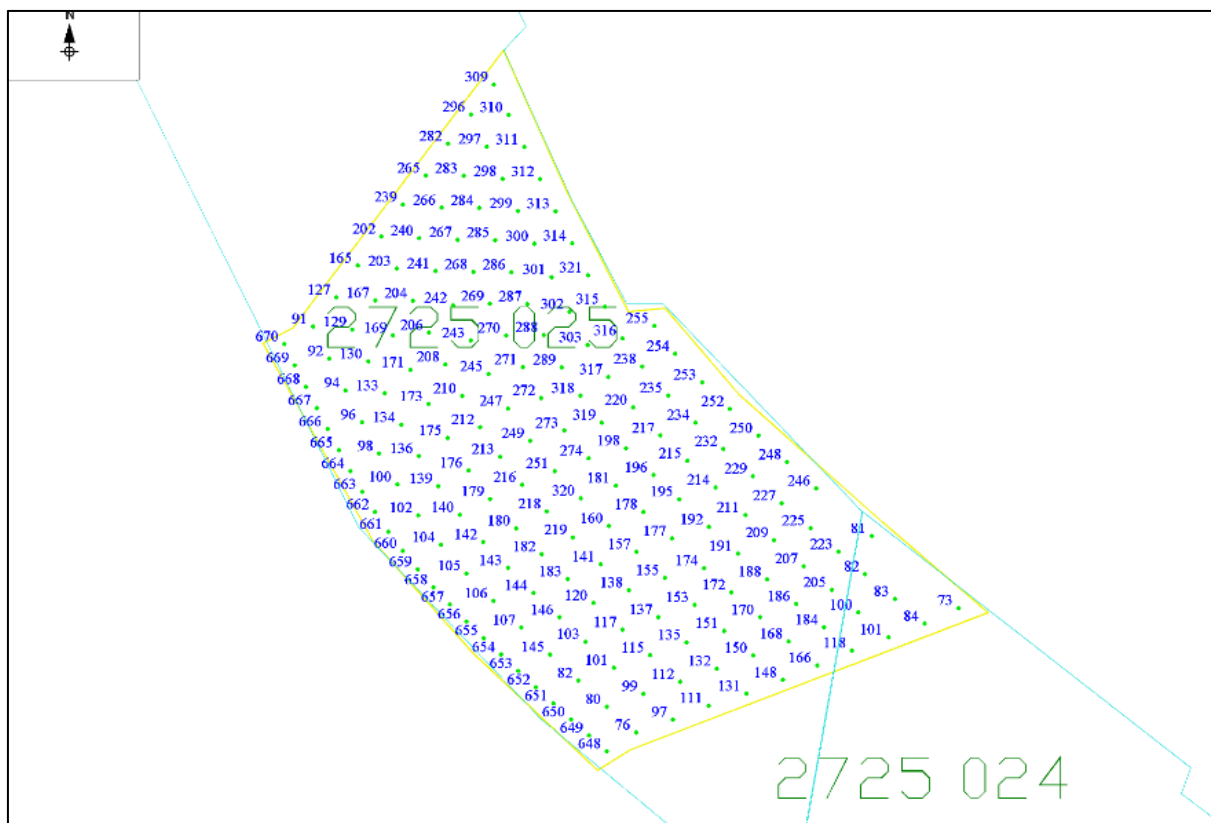
Nota: Elaboración propia.

En coordinación con las área involucradas de perforación y voladura y planeamiento y exponiendo el número de muestra que tenemos que realizar, se nos procedió a dar la malla determinada para realizar las pruebas; por lo que el presente trabajo se llevó a cabo en la fase 04 de la mina Toquepala, donde se encuentra la Pala 01(Figura 11 y 12); en esta zona se tiene ley de cobre más elevada; así mismo esta zona del fondo de mina cuenta con presencia abundante de agua, el macizo rocoso muy competente; por lo que se tiene muchas variables a considerar para que la fragmentación sea la más adecuada luego de la voladura y de esta forma lograr que la obtención del cobre continúe.

Para poder realizar las pruebas se tomó el proyecto 2725 024 025, que se encuentra perforado para la Pala 01, designado por el área de planeamiento mina, una vez establecido el diseño de carga aprobado por el jefe de perforación y voladura, así mismo el sector que será tapado con los tacos correspondientes al presente trabajo con detritus y gravilla 2 pulgadas. Así mismo, se realizó pruebas de retención del taco bajo la metodología (Anexo1).

Figura 13

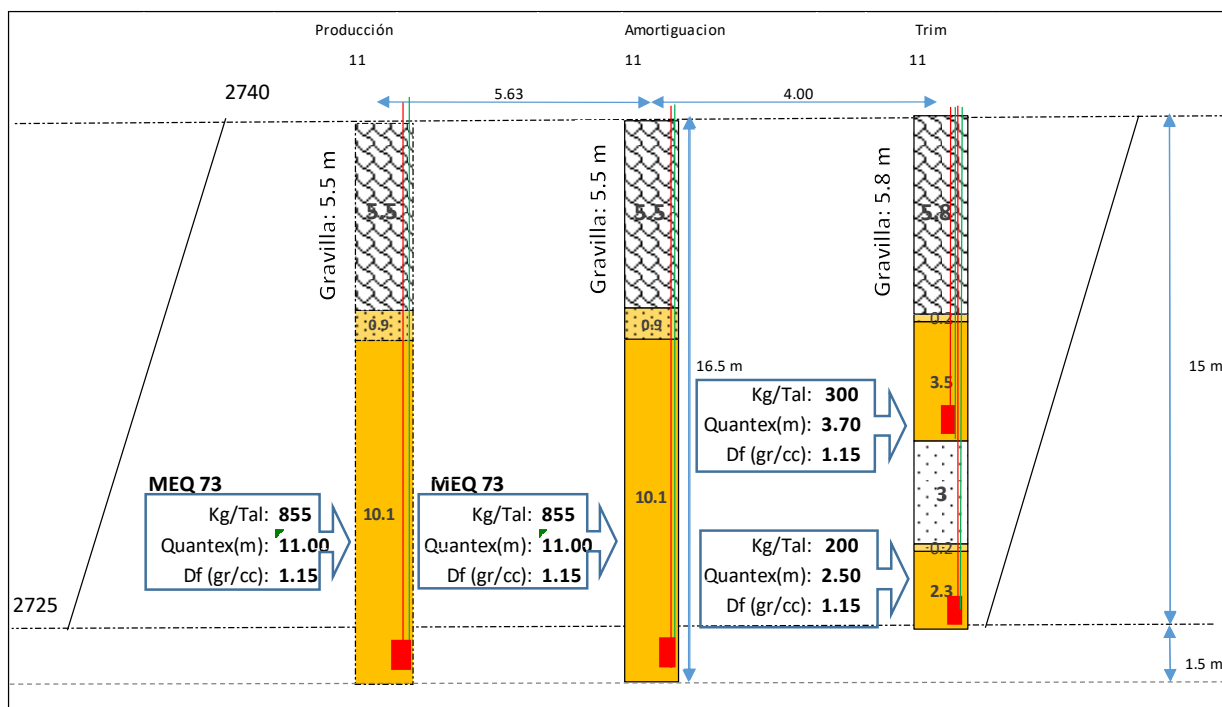
Malla 2725 024 025 de 6.5 m. x 6.5 m.



Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Diseño de Carguío del Proyecto 2725 024 025



Nota: Elaboración propia.

La figura 13 y 14 son diseños de perforación y diseños de carguío de taladros con los que trabajaremos en la investigación.

Este proyecto perforado se encontraba en fondo de mina, Fase 04 tenía 189 taladros perforados, con bastante presencia de agua.

Aplicando la teoría del Cráter en el diseño.

$$V = K * \frac{D}{12}$$

$$V = 25 * \frac{11}{12}$$

$$V = 22.92 \text{ pies}$$

$$V = 6.98 \text{ m}$$

Viendo la aplicación de la teoría del cráter vemos que el diseño de 5.5 m de taco esta por arriba de lo que sale de la aplicación de la teoría del cráter K=25 de un explosivo medio con una roca dura y un diámetro de perforación D=11 pulgadas.

3.5.1.1. Actividades preliminares:

Se inspeccionó el área y realizó el correcto llenado del IPERC. Se señalizó el área de trabajo con conos amarillos, cintas blancas para el contorno de las plataformas y cinta roja para el contorno de las zonas de material volado y cresta. Todos los involucrados contaron con la autorización emitida por la SUCAMEC.

3.5.1.2. Carguío de Taladros:

Se repartió los accesorios y explosivos en la boca de los taladros paralelo al tránsito de los camiones mezcladores. El operador de carguío se encargó de cebar y primar los explosivos en el taladro, colocándolo con una elevación de 1 a 1.5 m. del fondo del taladro. El operador del camión mezclador, llevó los agentes de cancha de nitrato en sus distintos compartimientos del camión mezclador, antes debió realizar sus documentos de gestión, al llegar al área asignada para realizar el carguío de taladros. El operador del camión mezclador guiado por el operador de piso ingresa a la malla, y se alistó para realizar el carguío de taladros; con los sistemas bombeable o vaciable. El operador del camión mezclador preparó su mezcla en el camión mezclador para iniciar el carguío de taladros. El personal de control de calidad se encargó de tomar, en cada viaje del camión mezclador, la densidad inicial del producto, y su densidad final en un taladro aleatorio, para confirmar si la mezcla cumplía con la densidad que se requiere, esto tomó unos 25 a 30 minutos.

Figura 15
Control de densidades de viajes de camiones mezcladores al proyecto 2725 024 025

XCSB		PROYECTO DISPARADO: 2725 024 025														
		CONTROL DE DENSIDADES EN CAMPO: D.F. 1.15 gr/cc en sistema vaciable y bombeable														
FECHA DE CARGUÍO	GUARDIA	PROYECTO	DR	PALA	CAMION MEZCLADOR	OPERADOR	MEZCLA EXPLOSIVA	MUESTRA (#)	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cc)	DENSIDAD INICIAL (gr/cc)	DENSIDAD FINAL (gr/cc)	CARGA LINEAL (kg/m)	SISTEMA CARGUÍO	DIAMETRO TALADRO (pulg.)	TALADROS CON AGUA
27/02/2021	B	2725 024 025	5	1	AYC-939(Q119)	Juan Lengua	70/30	1	635	993	1.375	1.15	84	VACIABLE	11	0
27/02/2021	B	2725 024 025	5	1	AUO-756(Q41)	Carlos Acosta	70/30	1	635	993	1.373	1.156	84	VACIABLE	11	0
27/02/2021	B	2725 024 025	5	1	BER-841 (Q127)	Sergio Sagua	70/30	1	635	993	1.374	1.155	84	BOMBEABLE	11	26
27/02/2021	B	2725 024 025	5	1	B6K-820(Q18)	Alonso Salinas	70/30	1	635	993	1.37	1.152	84	VACIABLE	11	0
27/02/2021	B	2725 024 025	5	1	AWK-864(Q117)	Adolfo Chahuares	70/30	1	635	993	1.374	1.155	84	BOMBEABLE	11	18
28/02/2021	B	2725 024 025	5	1	AWK-864(Q117)	Adolfo Chahuares	70/30	1	635	993	1.37	1.15	84	BOMBEABLE	11	18
28/02/2021	B	2725 024 025	5	1	BER-841 (Q127)	Sergio Sagua	70/30	1	635	993	1.375	1.155	84	BOMBEABLE	11	17
2/03/2021	B	2725 024 025	5	1	AWK-864(Q117)	Adolfo Chahuares	70/30	1	620	991	1.375	1.159	84	VACIABLE	11	0
2/03/2021	B	2725 024 025	5	1	AYC-939(Q119)	Juan Lengua	70/30	1	620	991	1.37	1.151	84	VACIABLE	11	0

Nota: Elaboración propia.

Se cargó de manera ordenada en filas para llevar un buen control del carguío de la malla.

Al terminar la carga el operador de camión limpio el sistema bombeable o vaciable para evitar derrames en su tránsito a recargar los agentes.

Al momento de retirarse de la malla fue guiado por el operador de carguío, para que no ocurra ningún incidente, si realizó maniobras dentro de la malla tuvo que realizarlo con autorización del operador de carguío, no debió pasar por taladros que aún no fueron tapados ni taladros sin cargar.

Cuando el taladro que ya estuvo cargado, el operador de camión mezclador lo registro en su hoja de carguío y en el sistema Blast IQ (Tablet), con el ID del taladro, su altura real, la altura de agua, la cantidad de mezcla empleada en Kg. y la cantidad de accesorios (booster, detonador no eléctrico y detonador electrónico) que tiene el taladro; todo esto para realizar los controles administrativos después de la voladura.

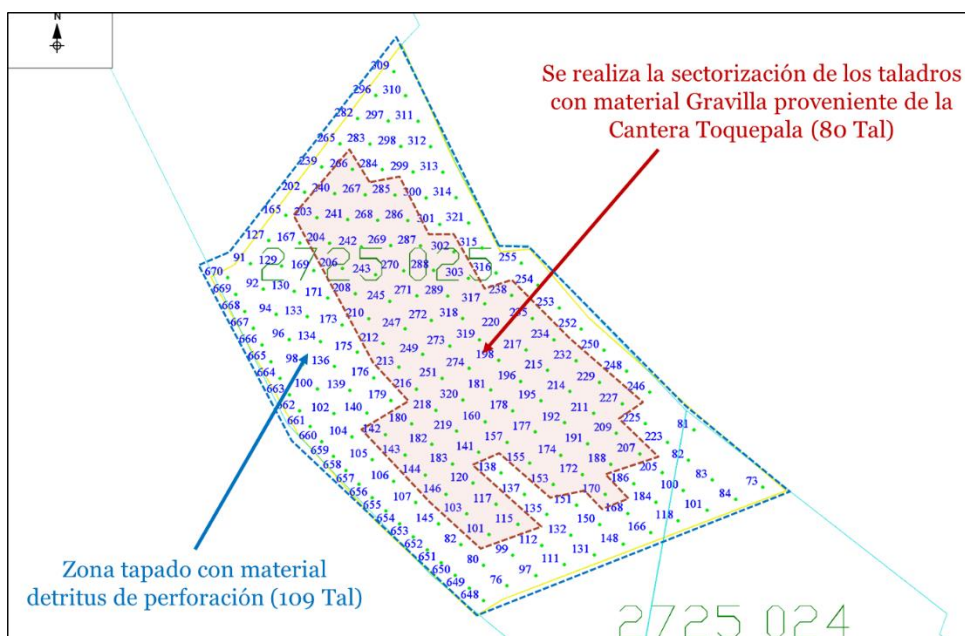
3.5.1.3. Tapado de Taladros:

Para realizar las pruebas de tapado de taladros con detritus y gravilla 2 pulgadas se sectorizó una parte de la malla ya cargada, esperando que la mezcla explosiva llegue a su densidad final. Así mismo se realizó la prueba de

retención de taco con detritus y con gravilla de 2 pulgadas (Anexo 2 y Anexo 3).

Figura 16

Sectorización de tapado con gravilla y detritus



Nota: Elaboración Propia.

La figura 16 nos muestra la zona que será tapado con gravilla de 2 pulgadas lo que nos indicará el sector a analizar para el frente de minado de la zona tapado con detritus y la zona con gravilla de 2 pulgadas.

Figura 17

Frente de minado de Pala 01 donde se desarrolló el presente proyecto de investigación



Nota: Elaboración propia.

La Figura 17 muestra el frente de minado de la Pala 01, que es el escenario específico donde se llevó a cabo el proyecto de investigación en cuestión.

Figura 18

Análisis en sistema del frente de minado



Nota: Elaboración propia.

Seguidamente, se procedió con el tapado de taladros con detritus y gavilla 2 pulgadas empleando un minicargador y el operador de carguío para proteger las líneas descendientes.

Figura 19

Procedimiento de Tapado de taladros con detritus y gravilla 2 pulgadas proveniente de Cantera Toquepala



Nota: Elaboración propia.

Se entregó el proyecto 2725 024 025 cargado y tapado a los compañeros de EBS (Electronic Blasting Sistem), que amarraron el proyecto dándole los tiempos ya pactados en el anteproyecto definido por el jefe de Perforación y Voladura de Southern.

Figura 20

Evaluación de Tapado del proyecto 2725 024 025 con detritus y gravilla 2 pulgadas



Nota: Elaboración propia.

Finalmente, se procedió a realizar la voladura de la Pala 01 con el protocolo de Voladura de EXSA Site Toquepala.

3.5.2. Paso 2. Se realizó las tomas fotográficas para el análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de detritus como taco en la unidad minera Toquepala

3.5.2.1. Obtención de detritus.

El material detritus empleado en la presente investigación es material inerte producto de la perforación que está en la parte superior del taladro (cono de los taladros).

Figura 21

Frente de minado de Pala 01 (Zona de Tapado con detritus)



Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Zona de Tapado de taco con detritus



Nota: Elaboración propia.

Posterior a la voladura del proyecto 2725 024 025 (Pala 01), se continuó con el análisis del material volado.

Se realizó 05 registros fotográficos aleatoriamente al frente de minado de la Pala 01, con la ayuda de esferas como escala.

Figura 23

Registros fotográficos aleatorios del frente de minado de Pala 01 empleando detritus, con ayuda de unas esferas como escala



Nota: Elaboración propia.

Se analizó en el programa Split Desktop 4.0 los 05 registros fotográficos del frente de minado de Pala 01, obteniendo la siguiente curva granulométrica (P80), con su respectiva tabla de datos.

3.5.3. Paso 3. Se realizó las tomas fotográficas para el análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala

Obtención de gravilla 2 pulgadas para ser empleada en la presente investigación.

Se analizó la granulometría de la gravilla proveniente de la cantera Toquepala.

Figura 24

Gravilla 2 pulgadas de la cantera Toquepala



Nota: Elaboración propia.

Se analizó la densidad aparente de la gravilla 2 pulgadas proveniente de la cantera Toquepala.

Figura 25

Densidad aparente de la gravilla de Cantera Toquepala



Nota: Elaboración propia.

La Figura 25 presenta la densidad aparente de la gravilla procedente de la Cantera Toquepala. La densidad aparente es un indicador crucial que muestra la masa de la gravilla por unidad de volumen, incluyendo los poros y espacios vacíos entre los granos

Tabla 5

Cálculo de la densidad aparente de la gravilla 2 pulgadas de Cantera Toquepala

	Peso (Kg)	Volumen (cm3)	Densidad (gr/cm3)
Muestra (gravilla 2 pulgadas)	15.55	11000	1.414

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 5 muestra el cálculo de la densidad aparente de la gravilla de 2 pulgadas proveniente de la Cantera Toquepala. En esta tabla, se detallan las medidas de peso y volumen de una muestra específica de gravilla, y a partir de estas medidas se obtiene la densidad. La muestra de gravilla de 2 pulgadas tiene un peso de 15.55 Kg y un volumen de 11,000 cm³. Al dividir el peso entre el volumen, se obtiene una densidad aparente de 1.414 gr/cm³ para la gravilla

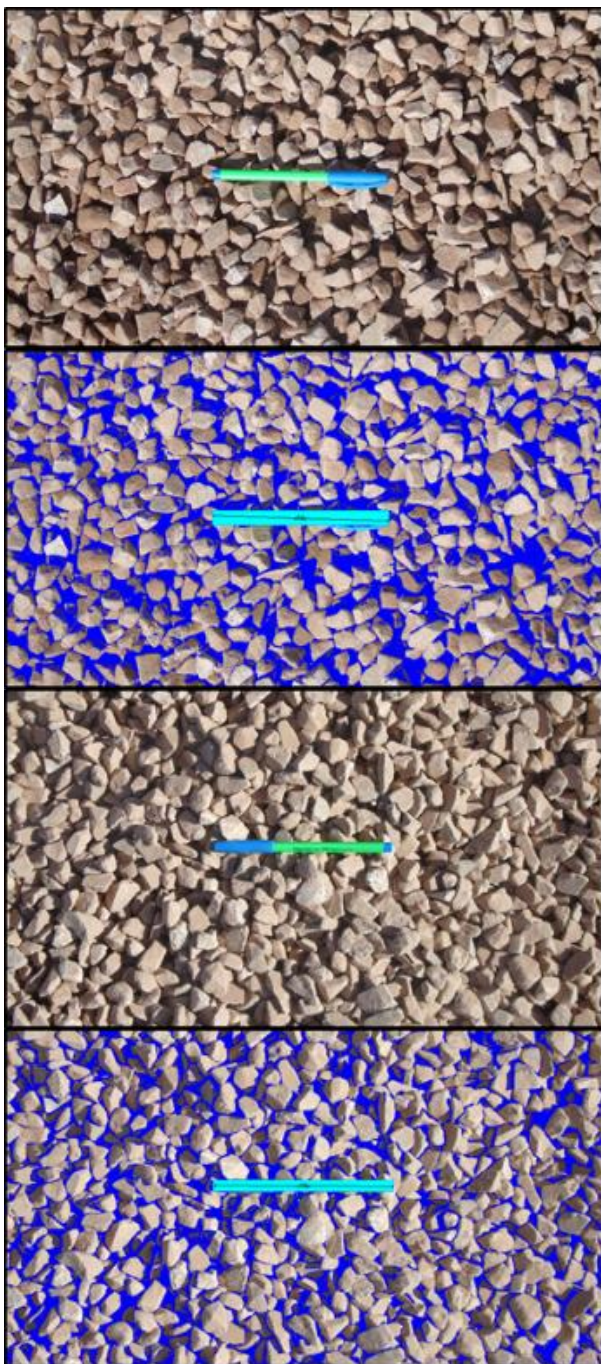
en cuestión. Esta densidad es una indicación crucial del espacio que la gravilla ocupa, considerando tanto su masa sólida como los espacios vacíos entre granos.

Se escoge la gravilla de 2 pulgadas de diámetro por temas operativos, ya que contamos con una zaranda estándar que nos proporciona dicha medida de granulometría de 2 pulgadas, aparte por el tema de seguridad si colocamos gravilla de mayor granulometría al momento de tapar los taladros podemos sufrir el corte de nuestras líneas descendientes, que posterior a ello nos puede ocasionar un tiro quedado (TQ) que es un peligro mayor que nos puede ocasionar la pérdida de vidas humanas, deterioro de equipos y daño al ambiente.



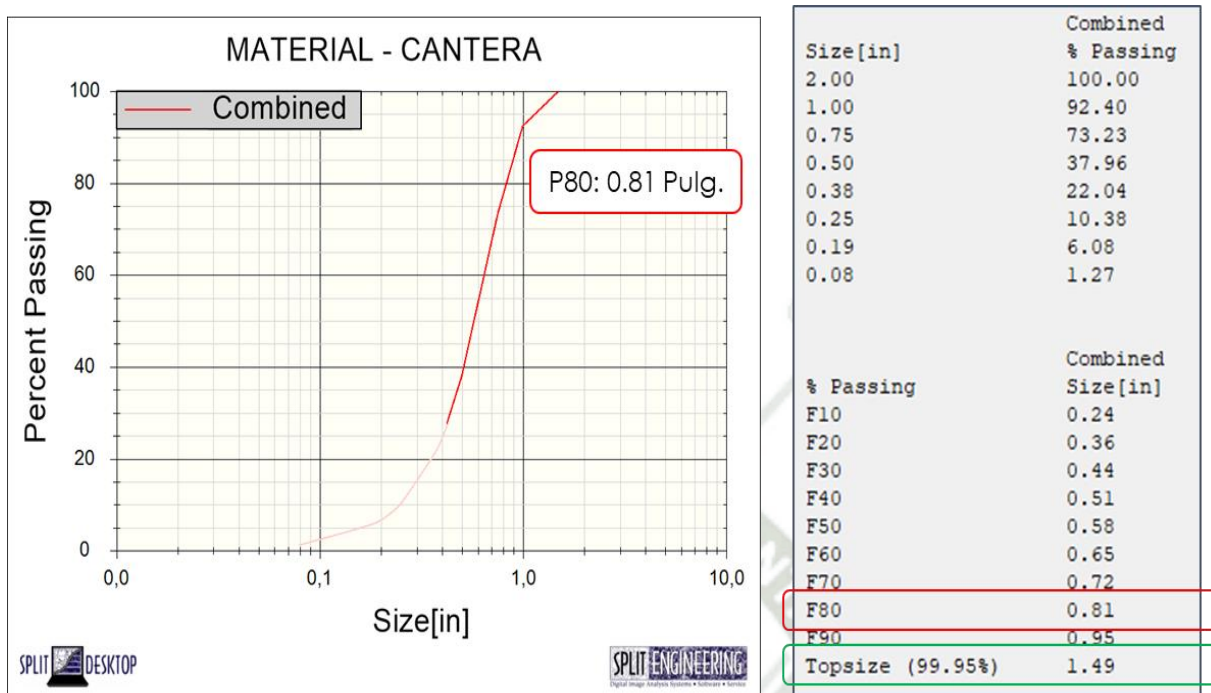
Figura 26

Muestras aleatorias para análisis de granulometría



Nota: Elaboración propia.

La Figura 26 muestra muestras aleatorias seleccionadas para un análisis de granulometría. En el contexto minero y geológico, la granulometría se refiere al estudio y distribución de los tamaños de las partículas en un material determinado. Mediante muestras aleatorias, se asegura que la selección sea representativa del conjunto total y no esté sesgada, lo que permite obtener resultados más precisos y confiables.

Figura 27
Análisis de las muestras aleatorias de gravilla 2 pulgadas con el programa Split Desktop


Nota: Elaboración propia.

La Figura 27 ilustra el análisis realizado a las muestras aleatorias de gravilla de 2 pulgadas utilizando el programa Split Desktop. Split Desktop es una herramienta especializada en el análisis granulométrico de materiales, permitiendo una visualización y evaluación detallada de la distribución de tamaños de partículas.

Figura 28

Evaluación de los taladros para la prueba con gravilla 2 pulgadas



Nota: Elaboración propia.

La Pala 01 continuó con el minado del material volado llegando al sector de la prueba en la cual se empleó gravilla 2 pulgadas.

De igual forma se realizó 05 registros fotográficos aleatorios al frente de minado de la Pala 01, con ayuda de unas esferas como escala.

Figura 29

Frente de minado de Pala 01 seleccionado para la prueba con gravilla 2 pulgadas



Nota: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra el frente de minado de la Pala 01, que ha sido específicamente seleccionado para realizar pruebas con gravilla de 2 pulgadas. Esta imagen representa el área concreta dentro de la mina donde se llevaron a cabo los ensayos para evaluar la eficacia, comportamiento y propiedades de la gravilla de 2 pulgadas en condiciones reales de minado

Figura 30

Registros fotográficos aleatorios del frente de minado de Pala 01 empleando gravilla 2 pulgadas, con ayuda de unas esferas como escala.



Nota: Elaboración propia.

Luego, se analizó con el programa Split Desktop 4.0 los 05 registros fotográficos del frente de minado de Pala 01, obteniendo la siguiente curva granulométrica (P80), con su respectiva tabla de datos.

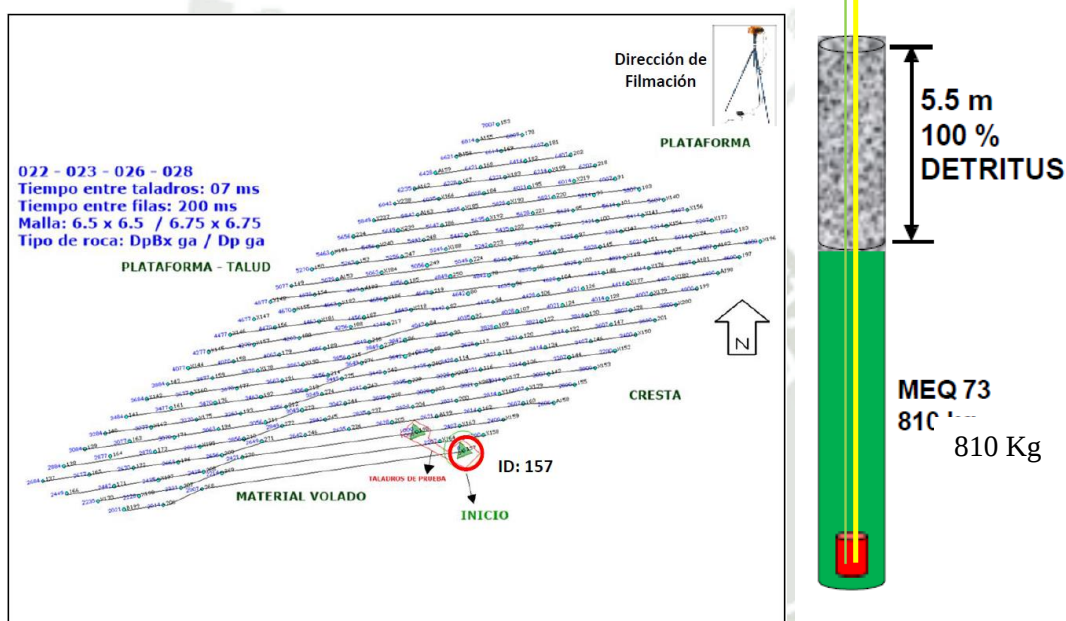
3.6. RETENCIÓN DE TACO

3.6.1. ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE TACO CON DETRITUS

Para la retención de taco del con material detritus como taco se realizó con las siguientes características:

Figura 311

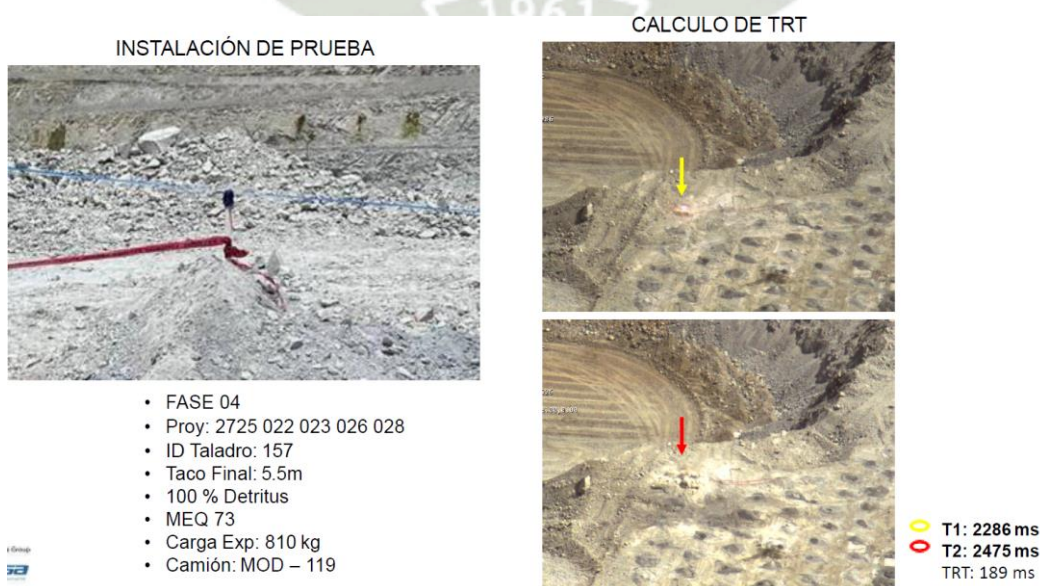
Diseño de taladro para prueba retención de taco con material detritus



Nota: Elaboración propia.

Figura 322

Cálculo del tiempo retención de taco con material detritus



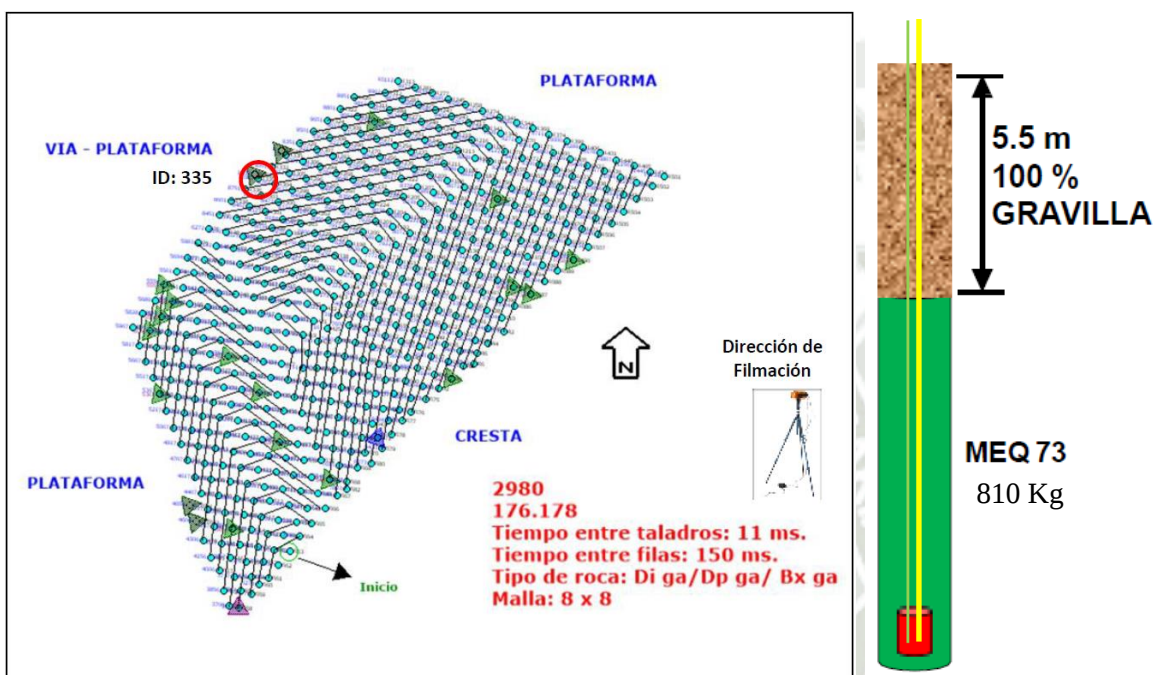
Nota: Elaboración propia.

3.6.2. ANÁLISIS DE RETENCIÓN DE TACO CON GRAVILLA DE 2 PULGADAS

Para la retención de taco del con material detritus como taco se realizó con las siguientes características:

Figura 333

Diseño de taladros para prueba retención de taco con material gravilla de 2 pulgadas



Nota: Elaboración propia.

Figura 344

Cálculo del tiempo retención de taco con material gravilla de 2 pulgadas



Nota: Elaboración propia.

3.7. MODELO ESTADISTICO

3.7.1. DISEÑO EXPERIMENTAL:

“Para el presente trabajo de investigación de empleo un Diseño Estadístico DCA [diseño completamente al azar] con cinco repeticiones por tratamiento [Tabla 3 y Tabla 4], se aplicó ANVA” (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

“Adicionalmente, para determinar la diferencia entre los tratamientos, los resultados fueron sometidos a la prueba Tukey” (Alquicira, 2017).

Se usó el programa estadístico Infostat versión 2020 para el procesamiento de datos.

3.7.2. Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error aleatorio, donde $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Tabla 6

Pruebas de análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de detritus

Factores	Unidad
Análisis de la fragmentación	cm

Nota: Elaboración propia.

La tabla 6 indica que el factor principal bajo estudio es la fragmentación, y la unidad de medida utilizada para este análisis es el centímetro (cm). Estas pruebas buscan entender cómo el uso de detritus afecta la fragmentación de la roca en la zona mencionada, lo cual es esencial para optimizar las operaciones de minado.

Tabla 7

Pruebas de análisis de la fragmentación en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla 2 pulgadas

Factores	Unidad
Análisis de la fragmentación	cm

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 7 presenta las pruebas llevadas a cabo para analizar la fragmentación en la zona fase 4, pero en esta ocasión, con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas.



CAPITULO IV

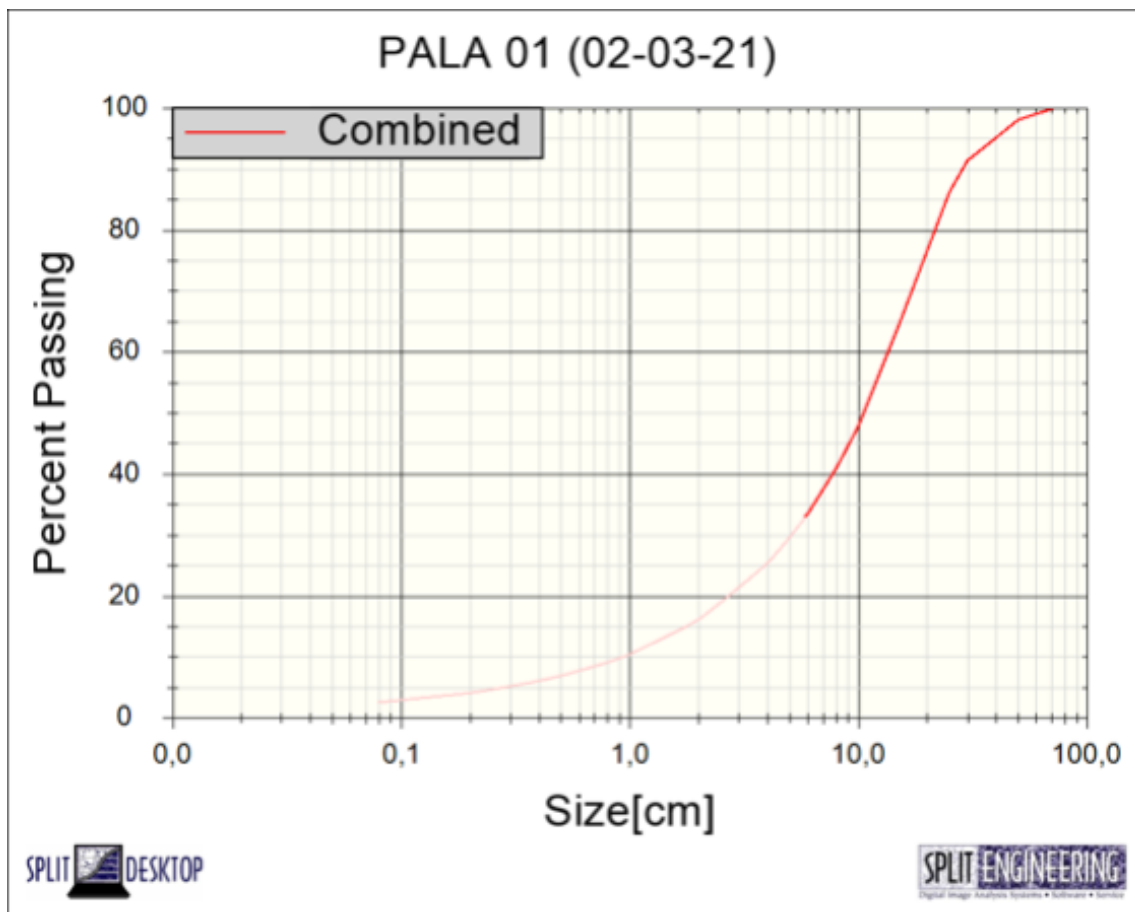
RESULTADOS

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado 1. Se realizó el análisis de la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de detritus como taco en la unidad minera Toquepala

Figura 355

Curva granulométrica (P80) (Zona de Tapado con Detritus)



Nota: Elaboración propia.

Luego de la voladura en el proyecto 2725 024 025 empleando detritus como taco se obtuvo los siguientes resultados analizados en el programa Split Desktop 4.0, los 05 registros fotográficos del frente de minado de Pala 01, se obtuvo la siguiente curva granulométrica (P80).

Tabla 8
Datos obtenidos después de la voladura empleando detritus

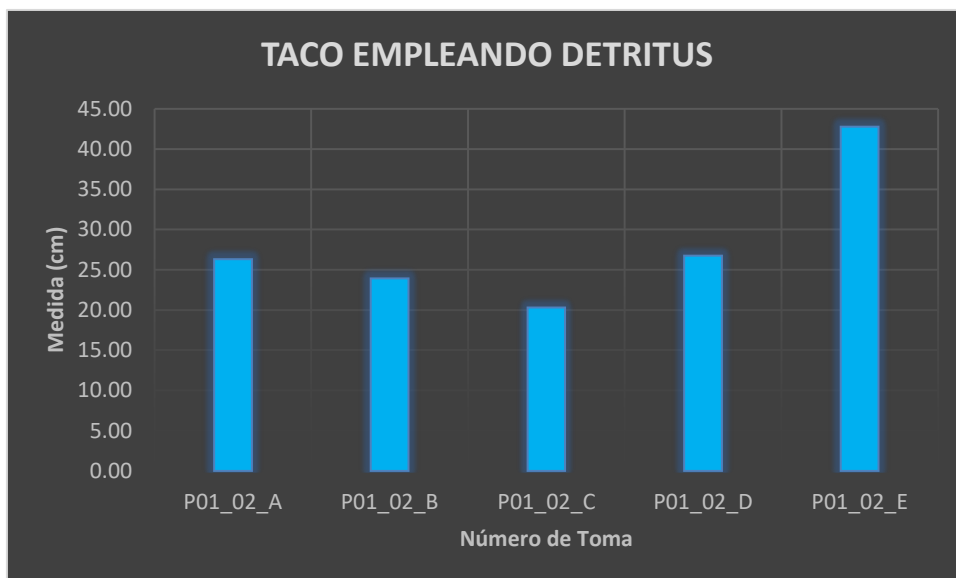
	Combined	P01_02_A	P01_02_B	P01_02_C	P01_02_D	P01_02_E
% Passing	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]
F10	0,91	1,23	0,07	2,18	0,93	1,63
F20	2,75	3,39	0,52	4,57	2,42	4,09
F30	5,08	6,15	1,62	7,05	4,24	7,00
F40	7,78	9,41	3,69	9,63	6,31	10,28
F50	10,69	13,18	7,15	12,34	8,63	13,58
F60	13,69	17,14	11,38	14,89	11,11	17,81
F70	17,03	21,34	16,69	17,42	13,67	25,54
F80	21,29	26,30	23,94	20,30	26,75	42,79
F90	28,39	32,88	33,04	24,05	21,29	55,96
Topsize (99.95%)	70,80	46,57	50,80	33,50	37,00	71,43

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 8 presenta los resultados de fragmentación tras una voladura usando detritus. Refleja la distribución granulométrica de los fragmentos resultantes en diferentes medidas porcentuales, desde F10 hasta F90, y el tamaño máximo de partícula "Topsize (99.95%)". Las columnas "Combined" a "P01_02_E" representan distintas muestras del área de voladura. Por ejemplo, en "P01_02_A", el 10% de las partículas miden 1,23 cm o menos (F10). Estos datos ayudan a evaluar la efectividad de la voladura.

Figura 36

Gráfico de la medida en cm (P80) de 05 registros fotográficos de material volado empleando detritus como taco



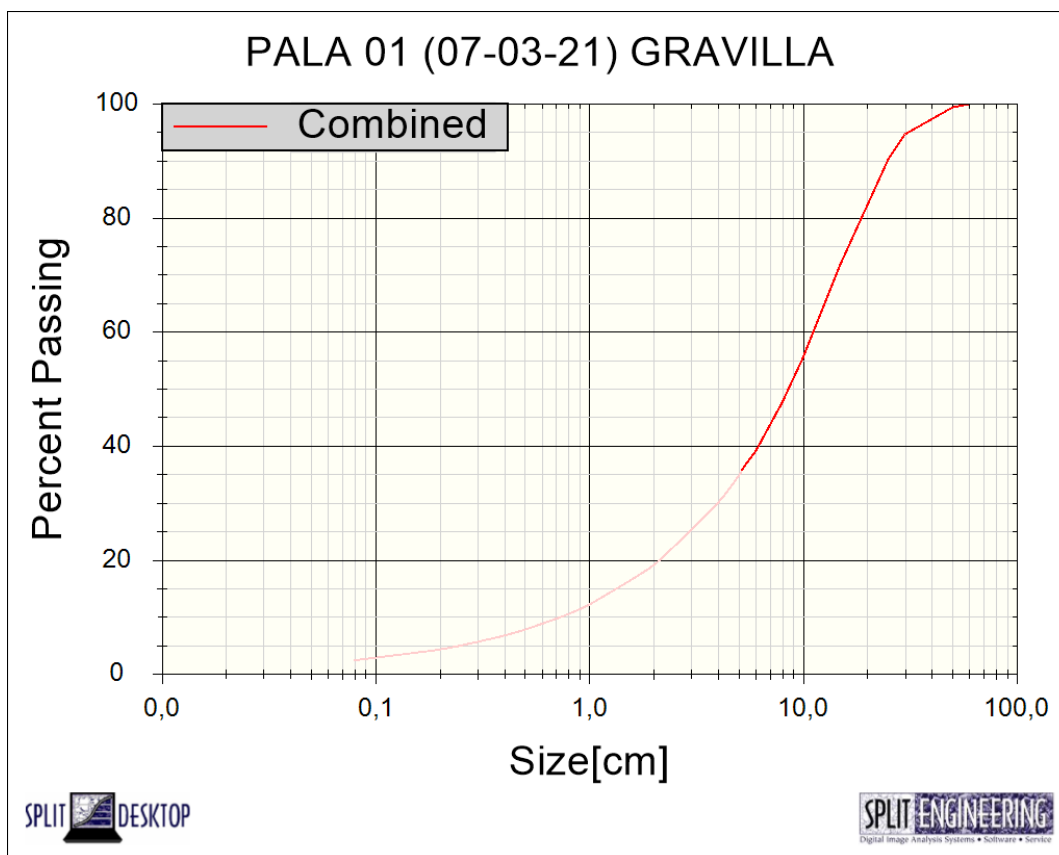
Nota: Elaboración propia.

La Figura 36 presenta un gráfico que ilustra la medida en cm (P80) obtenida a partir de 05 registros fotográficos de material volado usando detritus como taco. P80 hace referencia al tamaño de partícula bajo el cual se encuentra el 80% del material.

4.2. Resultado 2. Se realizó el análisis de la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala

Figura 37

Curva granulométrica (P80) (Zona de tapado con gravilla de 2 pulgadas)



Nota: Elaboración propia.

Luego de la voladura en el proyecto 2725 024 025 empleando gravilla 2 pulgadas como taco se obtuvo los siguientes resultados analizados en el programa Split Desktop 4.0, los 05 registros fotográficos del frente de minado de Pala 01, se obtuvo la siguiente curva granulométrica (P80).

Tabla 9
Datos obtenidos después de la voladura empleando gravilla 2 pulgadas

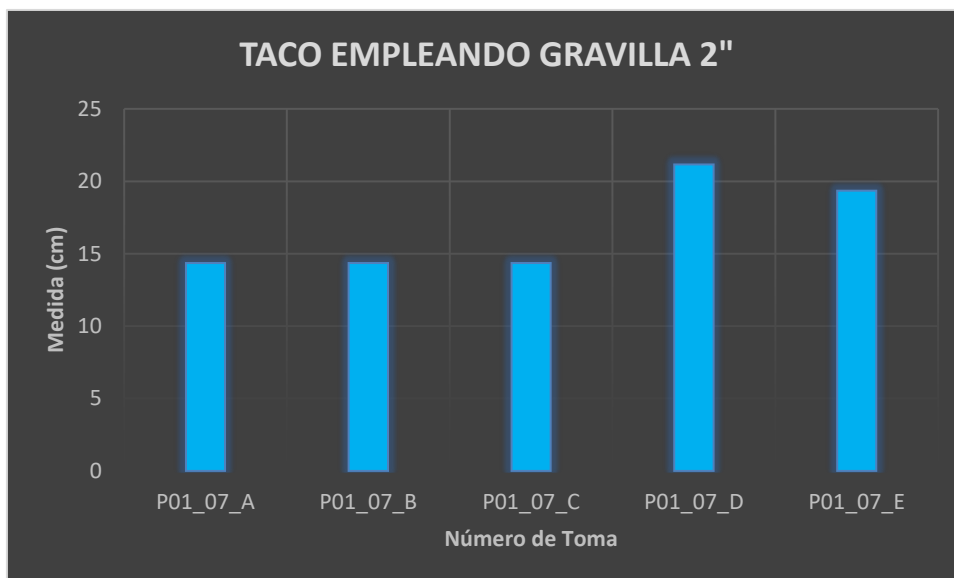
	Combined	P01_07_A	P01_07_B	P01_07_C	P01_07_D	P01_07_E
% Passing	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]	Size[cm]
F10	0,72	0,43	0,43	0,43	0,46	1,76
F20	2,13	1,38	1,38	1,38	1,57	3,80
F30	3,96	2,72	2,72	2,72	3,22	5,96
F40	6,19	4,42	4,42	4,42	5,37	8,21
F50	8,62	6,54	6,54	6,54	8,07	10,56
F60	11,26	8,75	8,75	8,75	11,04	12,91
F70	14,35	11,24	11,24	11,24	14,99	15,69
F80	18,35	14,36	14,36	14,36	21,16	19,36
F90	24,72	18,85	18,85	18,85	35,78	24,90
Topsie						
(99.95%)	59,24	31,74	31,74	31,74	60,09	39,28

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 9 muestra los datos de fragmentación obtenidos tras una voladura usando gravilla de 2 pulgadas como taco. Refleja la distribución granulométrica en diferentes porcentajes, desde F10 hasta F90, y el tamaño máximo de partícula "Topsize (99.95%)". Las columnas "Combined" a "P01_07_E" representan diferentes muestras del área de voladura. Esta tabla proporciona una vista detallada de la eficacia de la fragmentación al usar gravilla de 2" en la voladura. Por ejemplo, en "P01_07_A", el 10% del material mide 0,43 cm o menos (F10). Estos resultados son esenciales para evaluar y comparar la eficiencia de diferentes materiales de taco en el proceso de voladura.

Figura 38

Gráfico de la medida en cm (P80) de 05 registros fotográficos de material volado empleando gravilla 2 pulgadas como taco



Nota: Elaboración propia.

La Figura 38 muestra un gráfico basado en la medida en cm (P80) de 05 registros fotográficos del material volado al usar gravilla de 2 pulgadas como taco. El valor P80 indica el tamaño de partícula bajo el cual se encuentra el 80% del material. Esta representación gráfica permite visualizar de forma clara y directa la consistencia y eficacia de la fragmentación cuando se emplea gravilla de 2 pulgadas como material de taco en el proceso de voladura.

4.3. Se realizó el análisis de los resultados obtenidos.

Siguiendo con el análisis del presente trabajo de investigación se pudo observar una diferencia entre el material volado obtenido empleando detritus y gravilla 2 pulgadas como se puede ver en las siguientes Tablas 8 y 9 y Figuras 36 y 38. Con este resultado podemos verificar que mi hipótesis planteada, si se cumple con la reducción de fragmentación con unas medias obtenidas de 16.72 en la zona de tapado con gravilla de 2 pulgadas comparado a un 28.02 en la zona de tapado con detritus.

Tabla 10

Datos obtenidos después de la voladura empleando detritus y gravilla 2 pulgadas

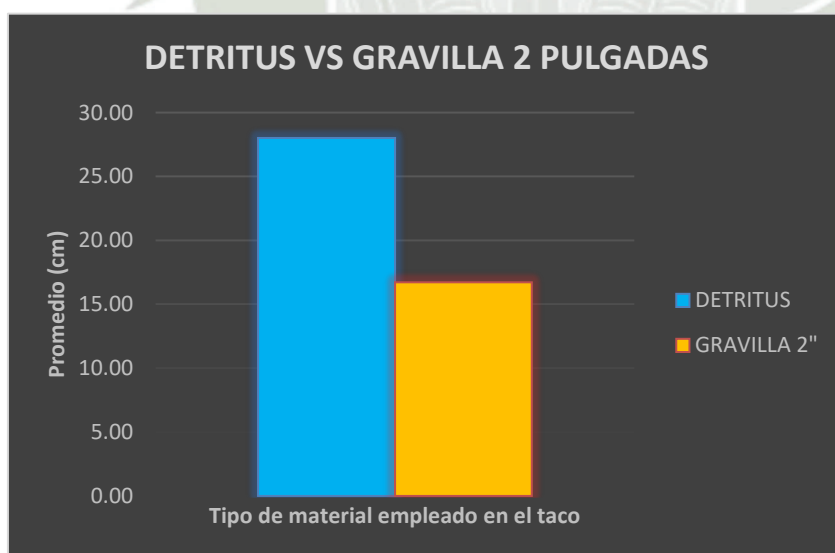
PROMEDIO	DETRITUS	GRAVILLA 2 PULGADAS
[cm]	28.02	16.72

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 10 muestra los datos promedio de fragmentación después de realizar voladuras empleando detritus y gravilla de 2 pulgadas como tacos. Se observa que el tamaño promedio de fragmentación obtenido con detritus es de 28.02 cm, mientras que con la gravilla de 2 pulgadas es de 16.72 cm. Acá tenemos un target de 23 cm en la zona de mineral por parte de Southern, pero para mejores procesos posteriores a la voladura si entregamos granulometría menor va a facilitar los posteriores procesos que en este caso son el carguío y acarreo de material para ser procesado. Por la tanto con la prueba de uso de gravilla de 2 pulgadas como taco nos brinda resultados muy favorables y por debajo del target solicitado por Southern.

Figura 39

Gráfico de promedio en cm (P80) usando detritus y gravilla 2 pulgadas como taco



Nota: Elaboración propia.

La Figura 35 representa un gráfico del promedio en cm (P80) obtenido de la fragmentación al emplear detritus y gravilla de 2 pulgadas como taco. Vemos que la prueba de uso de gravilla 2 pulgadas como taco nos da un mejor resultado de fragmentación que con el uso de detritus como taco.

4.4. RESULTADO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO:

Para el presente trabajo de investigación de empleo un Diseño Estadístico DCA [diseño completamente al azar] con cinco repeticiones por tratamiento, se aplicó ANVA. Para determinar la diferencia entre los tratamientos, los resultados fueron sometidos a la prueba Turkey, obteniéndose los resultados que se presentan a continuaciones los datos fueron procesados en el programa estadístico Infostat versión 2020. (Hernández et al., 2010)

Tabla 11

Análisis de Varianza de los resultados obtenidos

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
TAMAÑO MATERIAL VOLADO (cm)	10	0.48	0.42	29.25	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	319.00	1	319.00	7.45	0.0258
TIPO MATERIAL TACO	319.00	1	319.00	7.45	0.0258
Error	342.36	8	42.80		
Total	661.36	9			

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 11 muestra un Análisis de Varianza (ANOVA) de los resultados del tamaño del material volado en función del tipo de taco usado. El coeficiente de determinación (R^2) es de 0.48, lo que indica que el modelo explica el 48% de la variabilidad observada. El p-valor de 0.0258 sugiere que hay diferencias significativas en la fragmentación según el tipo de material de taco empleado.

Tabla 12
Prueba Tukey de los resultados obtenidos

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=9.54085

Error: 42.7951 gl: 8

TIPO MATERIAL TACO	Medias	n	E.E	
Detritus	28.02	5	2.93	A
Gravilla 2"	16.72	5	2.93	B

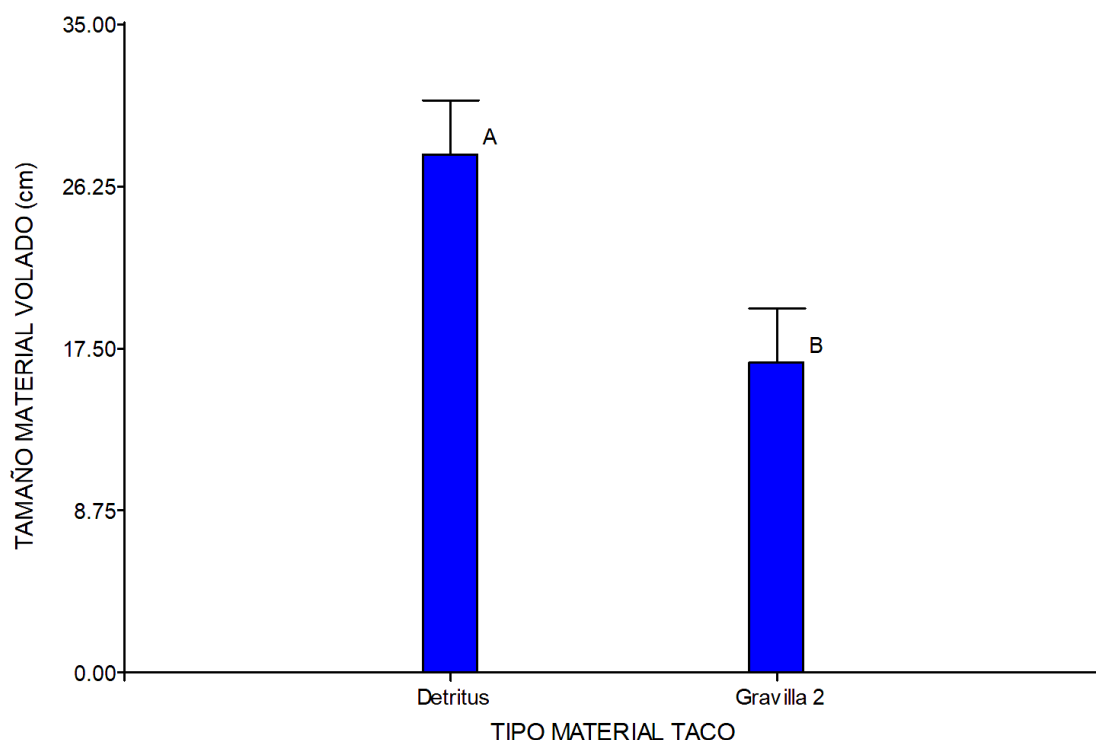
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 12 presenta una Prueba Tukey para analizar las diferencias entre las medias de los tamaños de material volado dependiendo del tipo de taco utilizado. Se observa que la media para el detritus es de 28.02 cm, mientras que para la gravilla 2 pulgadas es de 16.72 cm. El error estándar para ambos grupos es de 2.93. Las letras distintas (A y B) indican que las medias de ambos tipos de taco son significativamente diferentes al nivel de confianza del 95%. En otras palabras, el tamaño de fragmentación varía dependiendo del material de taco empleado en la voladura.

Figura 40

Gráfico obtenido con el programa Infostat de tamaño promedio obtenido vs el tipo de material de material empleado como taco



Nota: Elaboración propia.

Como puede evidenciarse luego del análisis de los resultados obtenidos (Figura 35) hay una diferencia del tamaño producto de la voladura empleando diferentes tipos de tacos.

Los resultados se encuentran respaldados estadísticamente dado que está demostrado que hay una diferencia significativa entre los promedios empleando detritus hasta 28.02 cm y de 16.72 cm empleando gravilla 2 pulgadas.

Se ha logrado obtener hasta 11.30 cm en la reducción promedio de la fragmentación empleando gravilla 2 pulgadas; esto no quiere decir que, al emplear un material homogéneo como taco, permite que la energía producto de la voladura sea distribuida de una mejor forma y consecuentemente generó una reducción en el tamaño del material fragmentado.

Los resultados en los que obtuve una mejor fragmentación por el uso de la gravilla de 2 pulgadas como taco en los taladros del proyecto 2725 024 025; se debe a el grado de retención del taco; ya que cuando se tiene una mayor retención de taco, la energía del explosivo usado no se libera por la zona de menor retención, sino que esta energía será utilizada en el macizo rocoso, haciendo que tanto la energía liberada, como los gases generados en la voladura

puedan fracturar el macizo rocoso obteniendo mejores resultados de fragmentación, que esto nos facilitará los procesos posteriores para la obtención del cobre.

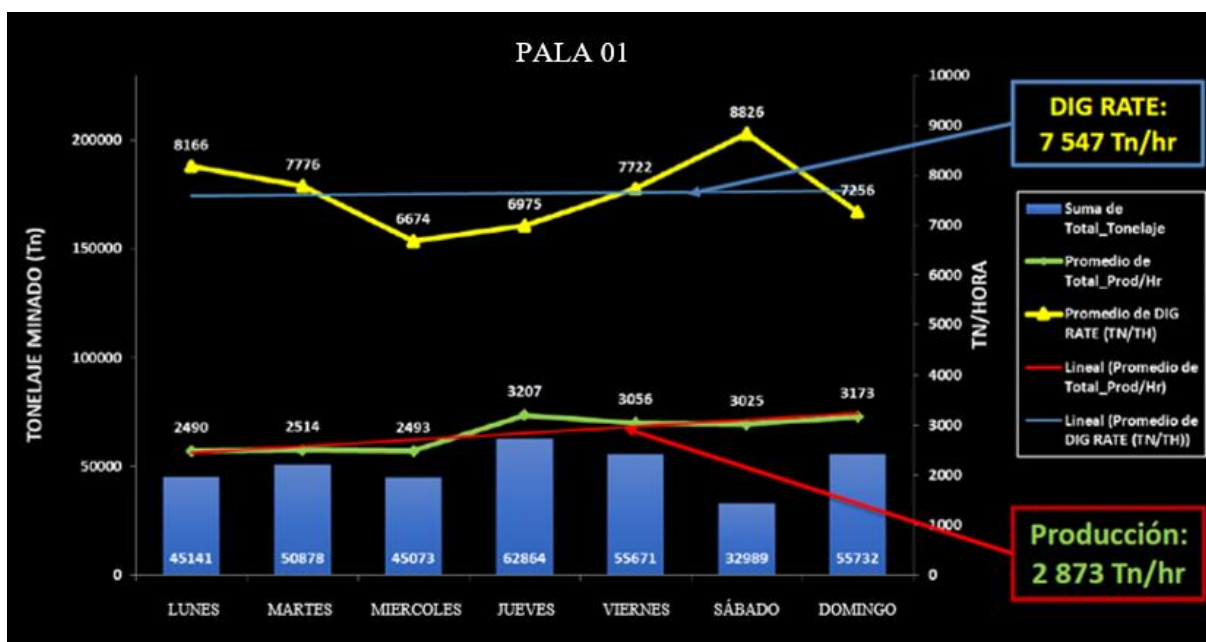
Los resultados obtenidos en la presente investigación fueron similares a los del artículo científico denominado “An Evaluation on the Impact of Ore Fragmented by Blasting on Mining Performance” publicado el 2022 donde se comenta que, en las minas a cielo abierto, la operación de voladura debe optimizarse de manera efectiva, lo que lleva a la minimización de los costos de producción mediante la aplicación de técnicas específicas. Sin embargo, no hay información adecuada en la literatura para vincular la voladura con las etapas de trituración. Para ello, el trabajo concluye que los parámetros efectivos de la fragmentación de la roca (RFD) provocada por la voladura se consideran como el principal criterio determinante para proporcionar las condiciones óptimas en la operación de voladura en la mina de cobre Sarcheshmeh. Al realizar un análisis estadístico de los datos experimentales, se optimizaron los parámetros operativos que afectan a la voladura y se emplearon para determinar el modelo de mejor ajuste. El enfoque de esta investigación se limitó a los parámetros efectivos para la eficiencia de las voladuras. Según el análisis de los datos obtenidos de 20 voladuras en diferentes condiciones de operación, el diámetro fue de 241,3 mm. (Nikkhah et al., 2022)

Los resultados de la presente investigación lograron un promedio de (P80) de hasta 16.72 cm empleando gravilla 2 pulgadas como taco; a diferencia de la anterior investigación que no menciona el tipo de taco empleado en sus voladuras; pero podemos evidenciar que el material de taco influye directamente en el tamaño de material fragmentado producto de la voladura.

Este resultado se ve reflejado en la producción y dig rate que realizó la Pala 01, cuando la Pala 01 trabajó en material volado donde se utilizó detritus como material de taco; obteniendo los siguientes resultados.

Figura 4136

Producción y Dig Rate de Pala 01 en material volado donde se utilizó detritus como Taco.

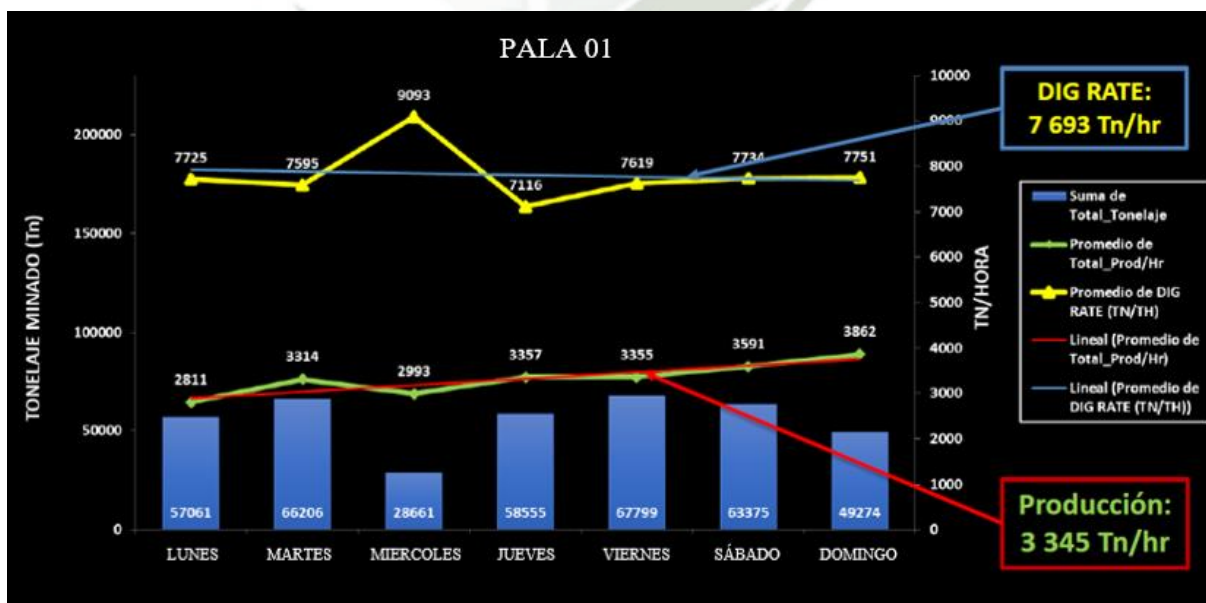


Nota: Elaboración propia.

En cambio, cuando la Pala 01 trabajó en material volado donde se utilizó gravilla de 2 pulgadas como material de taco obteniendo los siguientes resultados.

Figura 37

Producción y Dig Rate de Pala 01 en material volado donde se utilizó gravilla de 2 pulgadas como Taco.



Nota: Elaboración propia.

Comparando la Figura 37 con la Figura 38 vemos que la producción de la pala 01 por hora aumenta casi 500 toneladas por hora y el dig rate aumenta casi 100 toneladas por hora, lo que nos indica que en el frente de minado que se utilizó gravilla de 2 pulgadas como taco la pala 01 tiene un mejor performance en el carguío y acarreo que son los siguientes procesos en la obtención del cobre.

Las Palas en Southern tienen un KPI de Producción por hora de 2500 Tn/hr, para cumplir con su objetivo anual que oscila las 203,780,000 toneladas movidas. En ambos escenarios la producción de la Pala 01 está por encima de este valor, pero viendo que con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco tiene 500 toneladas por hora más que la aplicación de detritus como taco. La Pala 01 tiene un KPI de trabajar su Dig Rate de 7000 Tn/hr, em ambos escenarios supera dicho KPI, pero viendo que son 100 toneladas por hora más con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas como taco que con la aplicación de detritus.

Tabla 13

Tabla de Target de P80, Producción y Dig Rate de Palas – Southern

P80	Producción	Dig Rate
23 cm (Mineral)		
23.5 cm (Lixiviable)	>2500 Tn/h	>7000 Tn/h
25 (Desmonte)		

Nota: Elaboración propia.

Viendo la Tabla 13 podemos observar que la presente hipótesis que estamos planteando esta por debajo del P80 requerido para la zona de mineral, que está 5 cm por debajo del target, lo que facilitará los procesos siguientes, así mismo también la producción y dig rate de las Pala 01 esta por encima del target que tiene que cumplir la Pala para poder llegar a su producción anual.

CONCLUSIONES

- PRIMERA:** Se redujo la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de gravilla de 2 pulgadas en la unidad minera Toquepala, se obtuvo promedios de hasta 16.72 cm a diferencia del uso de detritus donde se obtuvo promedios de hasta 28.02 cm; lo que significa que la eficiencia del uso de la gravilla nos demuestra que hay mejores resultados lo que se ve reflejado en la figura 35 en el análisis de resultados, también en temas de seguridad con la menor proyección de fragmentos de roca ya que tiene mayor tiempo de retención de taco Anexo 2 y Anexo 3.
- SEGUNDA:** Se determinó que aplicando gravilla de 2 pulgadas nos da mejores resultados de fragmentación, que se ve reflejado en los siguientes procesos, carguío y acarreo. Esto se ve reflejado en la comparación de la figura 37 y 38 que la pala 01 tiene un mejor performance en cuanto a la producción y el dig rate de la Pala01.
- TERCERA:** Se analizó la fragmentación (P80) en la zona fase 4 con la aplicación de detritus como taco en la unidad minera Toquepala; donde se analizó 05 registros fotográficos y se obtuvo un promedio de hasta 28.02 cm de material fragmentado y con la aplicación de gravilla 2 pulgadas como taco en la unidad minera Toquepala; donde se analizó 05 registros fotográficos y se obtuvo un promedio de hasta 16.72 cm de material fragmentado. Lo que nos asegura que el material estará en mejores condiciones para el carguío y acarreo del material a planta, lo que se ve reflejado en la figura 37 y 38 con un mejor performance de la pala 01.

RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Realizar pruebas adicionales utilizando gravilla de 1.5 pulgadas y 2.5 pulgadas con el propósito de determinar si se puede observar alguna mejora en la fragmentación. De esta manera, se busca confirmar si el uso de un taco uniforme de tamaño menor o mayor resulta más efectivo en la reducción de la fragmentación.
- SEGUNDA:** Realizar pruebas empleando una mayor cantidad de taco con el fin de ver los efectos de emplear una mayor cantidad de taco, pero con el material ya seleccionado, dado que en la presente investigación se ha demostrado que hay una reducción en la fragmentación empleando material homogéneo de gravilla 2 pulgadas como taco.
- TERCERA:** Realizar pruebas empleando una menor cantidad de taco con el fin de ver los efectos de emplear una mayor cantidad de taco, pero con el material ya seleccionado, dado que en la presente investigación se ha demostrado que hay una reducción en la fragmentación empleando material homogéneo de gravilla 2 pulgadas como taco.
- CUARTA** Realizar pruebas modificando otras variables del proceso de fragmentación con el fin de optimizar y lograr un menor tamaño en los fragmentos obtenidos producto de la voladura; y así puedan los siguientes procesos carguío y acarreo ser más eficientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alquicira, J. (2017). *Análisis de correlación*. Obtenido de <https://conogasi.org/articulos/analisis-de-correlacion-2/>
- Ames, V. (2008). *Diseño de mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas*. [Tesis para optar el grado académico de Maestro]. Obtenido de <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/635>
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid. Obtenido de <https://oa.upm.es/21848/>
- Busuyi Thomas, A. (2009). Optimization of drilling and blasting operations in an open pit mine—the SOMAIR experience. *Mining Science and Technology*, 0736–0739. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674526409601344&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=18303001023962440263&ei=6TwfZa-GCcruyGTjzYnoDw&scisig=AFWwaeY7xSIJYcKsYTFq8_zvdMbQ
- Castilla, J., & Herrera, J. (2011). Modelización de parámetros de voladura para la optimización del proceso minero: la voladura computerizada. *IX Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción*, 266--276.
- Charles, V. (2015). Mining Cluster Development in Peru: Learning from the International Best Practice. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1-13. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://citeseerx.ist.psu.edu/document%3Frepid%3Drep1%26type%3Dpdf%26doi%3Df1c7e509768f00e6af93aed618eec2eeb5aedba5&hl=es&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=7320850902424453844&ei=VT0fZYjyHa6P6rQPvLWsmAQ&scisig=AFWwae
- Chavez, V. (2019). *Aplicación de stemming de 2" utilizada como taco, para mejorar la fragmentación en las zonas de brechas con mineral de alta ley en la unidad minera Cuajone*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial]. Obtenido de <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/115>
- EXSA. (2020). *Manual práctico de voladura*. 5ta Edición. Obtenido de <https://minedeskcorp.com/libro-manual-practico-de-voladura-exsa/>

- Faramarzi, F., Farsangi, E., & Mansouri, H. (2013). A Rock Engineering Systems Based Model to Predict Rock Fragmentation by Blasting. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 82-94. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1365160913000087>
- Ghasemi, E., Amini, H., Ataei, M., & Khalokakaei, R. (2012). Application of artificial intelligence techniques for predicting the flyrock distance caused by blasting operation. *Springer*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12517-012-0703-6>
- Gutiérrez, P., & De la Vara, S. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw Hill. Obtenido de https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Hernández, Fernández, & Baptista. (2010). *Metodología de la investigación*. Editorial McGraw Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Lara, O. (2013). *Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A.* Perú: [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2173/Lara%20Baltazar.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Linares, E. L. (2018). Un nuevo enfoque predictivo de la fragmentación en la Voladura de Rocas. *Industrial data*, 21(1), 17--26. Obtenido de <https://go.gale.com/ps/i.do?asid=0b8f65ae&id=GALE%7CA595569660&it=r&p=I FME&sid=googleScholar&u=googlescholar&v=2.1>
- Lopez, Lopez, & García. (2004). *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España. Obtenido de <http://ingeominas.es/producto/manual-de-perforacion-y-voladura-de-rocas/>
- Marcos, J. (2021). *Efectos del confinamiento al usar tacos en la voladura, en la Empresa Minera San Simón S.A. Unidad Minera La Virgen*. Perú: [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2307/1/T026_74092054_T.pdf
- Muñoz, M. (2022). *Grado de desempeño de los Parámetros de Voladura, para mejorar la*

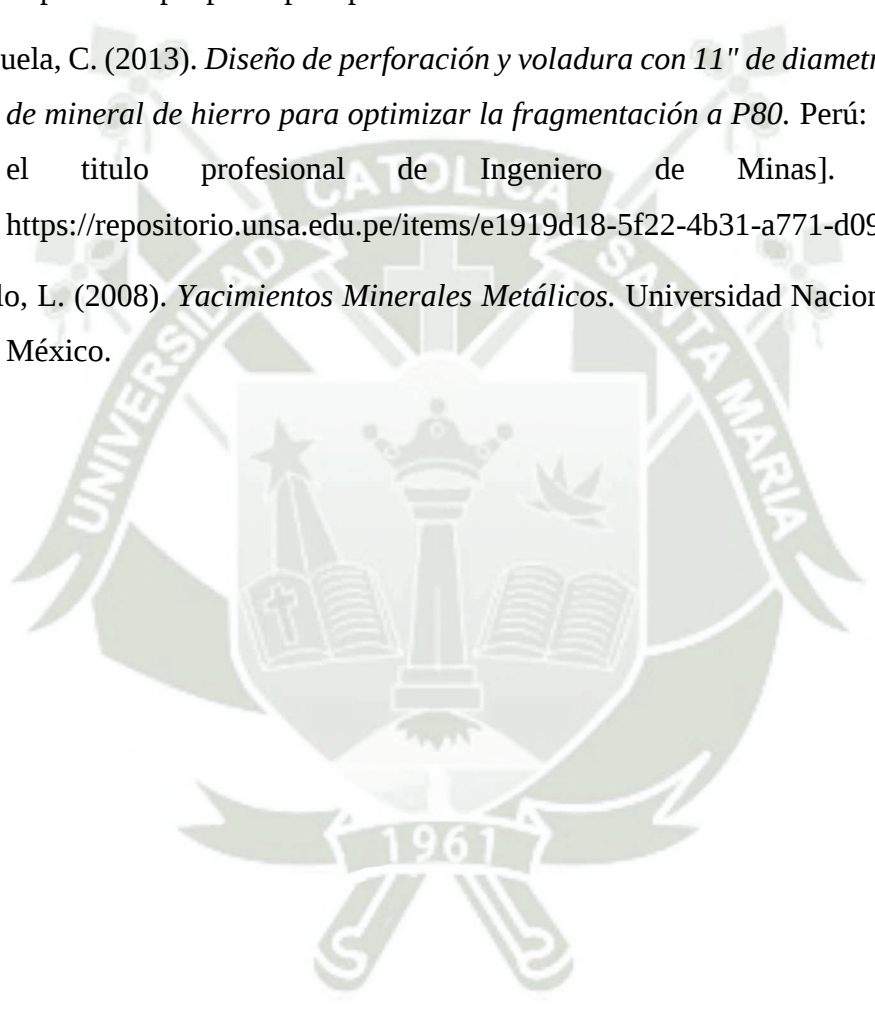
- calidad operacional, en la Unidad Minera La Virgen – Huamachuco.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2548/1/T026_73447077_T.pdf
- Narrea, O. (2018). *La minería como motor de desarrollo económico para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 8, 9, 12 y 17.* Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social. Obtenido de https://www.up.edu.pe/egp/Documentos/agenda_2030_la_mineria_como_motor_de_desarrollo_economico_para_el_cumplimiento_de_los_ods_89_12_y_17.pdf
- Neiman, I. (1983). Mathematical model of the explosive action of a fracturing charge in a ledge rock mass. *Soviet Mining*, 19, 494--499. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://link.springer.com/article/10.1007/BF02497177&hl=es&sa=T&oi=gsb&ct=res&cd=0&d=5397704473779301907&ei=RC8gZcS3OauK6rQP_OC06Ag&scisig=AFWwaeZS4URLpPJlulyjImUZ_Mx
- Nikkhah, A., Vakylabad, A. B., Hassanzadeh, A., Niedoba, T., & Surowiak, A. (2022). An evaluation on the impact of ore fragmented by blasting on mining performance. *Minerals*, 12(2), 258. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_url?url=https://www.mdpi.com/2075-163X/12/2/258&hl=es&sa=T&oi=gsb-ggp&ct=res&cd=0&d=1110464402744639529&ei=Yy8gZe3AGY-8ywTAmKmADQ&scisig=AFWwaeBNKRAgE4WYGRf7LvRQ7UuY
- Rivera, H. (2005). *Geología general.* Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Obtenido de https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=42204&shelfbrowse_itemnumber=42204
- Sáenz, Y., Castañeda, A., & Cancec, A. (2015). *Nuevas técnicas para el confinamiento del explosivo en mina a tajo abierto.* Perú: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Obtenido de <https://onemine.org/documents/nuevas-t-cnicas-para-el-confinamiento-del-explosivo-en-minas-a-tajo-abierto-experiencias-en-yanacocha>
- Sepúlveda, F. (2005). *Metodología para una valoración económica de los recursos minerales de Colombia.* Medellín: [Tesis para optar el grado académico de Maestro]. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3355>
- Tamayo, J., Salvador, J., Vásquez, A., & Zurita, V. (2017). *La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país.* Lima:

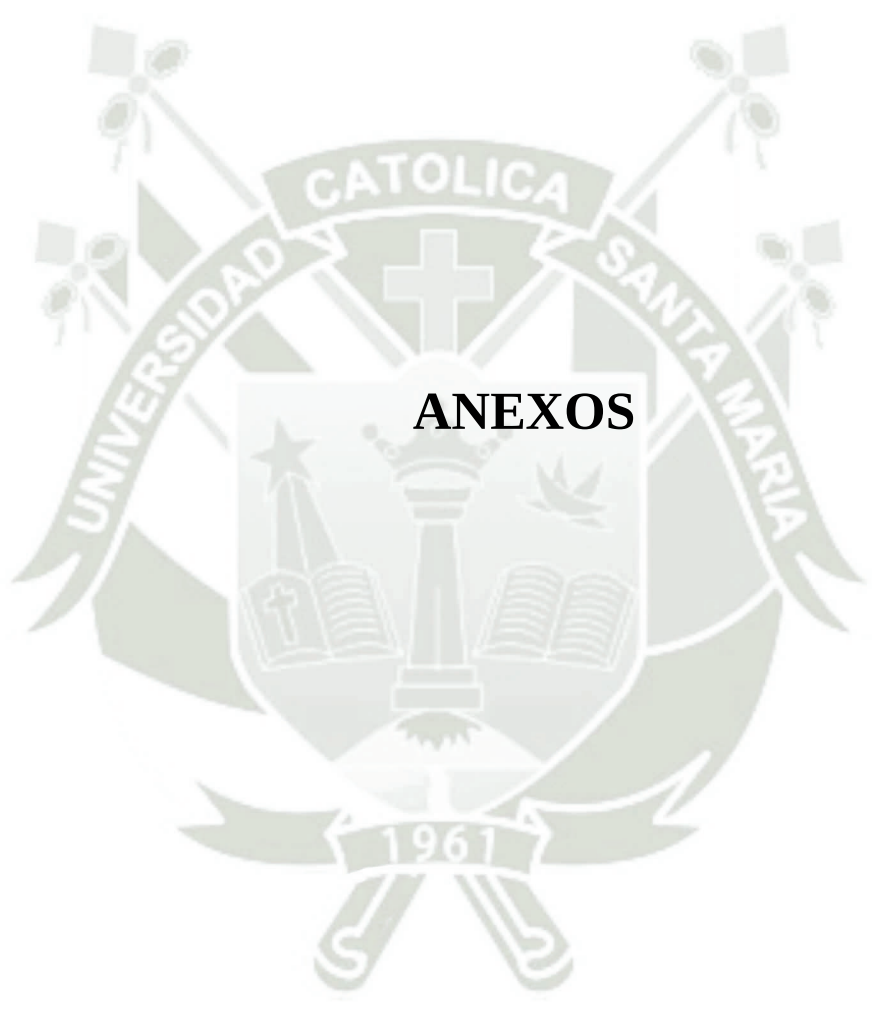
Gráfica Biblios S.A. Obtenido de
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/607053/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anios.pdf?v=1587592777>

Torres, A. (2017). *Influencia de la optimización de la fragmentación de roca en la rentabilidad de las operaciones mina-molienda*. Oroya: [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7629>

Valenzuela, C. (2013). *Diseño de perforación y voladura con 11" de diametro con doble taco de mineral de hierro para optimizar la fragmentación a P80*. Perú: [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas]. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e1919d18-5f22-4b31-a771-d0986d1bb410>

Vassallo, L. (2008). *Yacimientos Minerales Metálicos*. Universidad Nacional Autonoma de México.





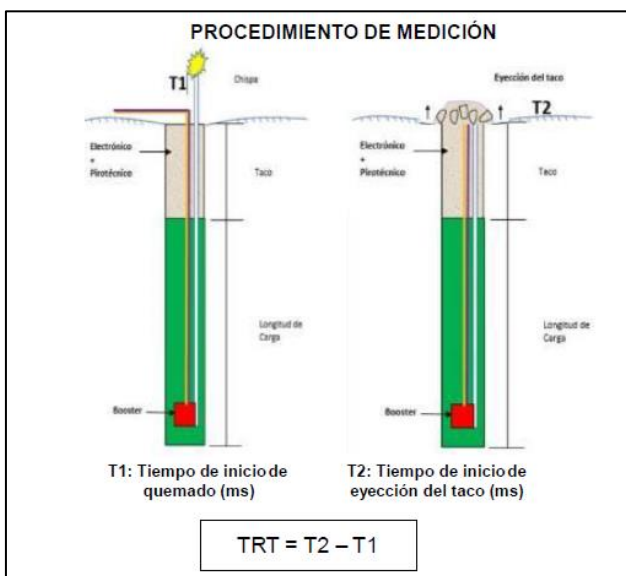
ANEXOS

ANEXO 1

METODOLOGÍA DE MEDICIÓN DE RETENCIÓN DE TACO

Figura 43

Metodología de medición de Retención de Taco



Nota: Elaboración propia.

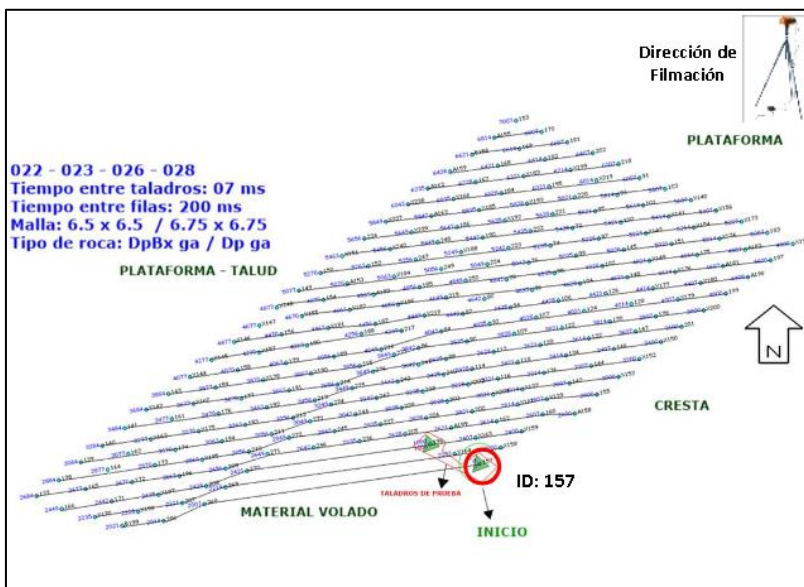
ANEXO 2

ANÁLISIS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE TACO (DETRITUS)

PROYECTO 2725 022 023 026 028

Figura 44

Diseño de amarre y taladro donde se realizó la prueba de retención proyecto 2725 022 023 026 028

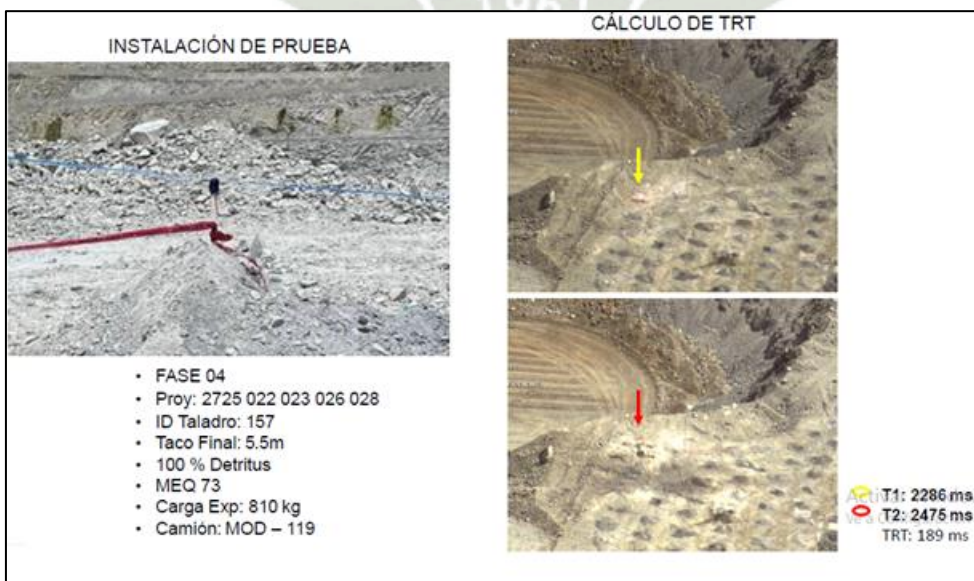


Nota: Elaboración Propia.

MEDICIÓN DEL TALADRO 137

Figura 45

Medición de retención de taco (detritus) del taladro 137.



Nota: Elaboración Propia.

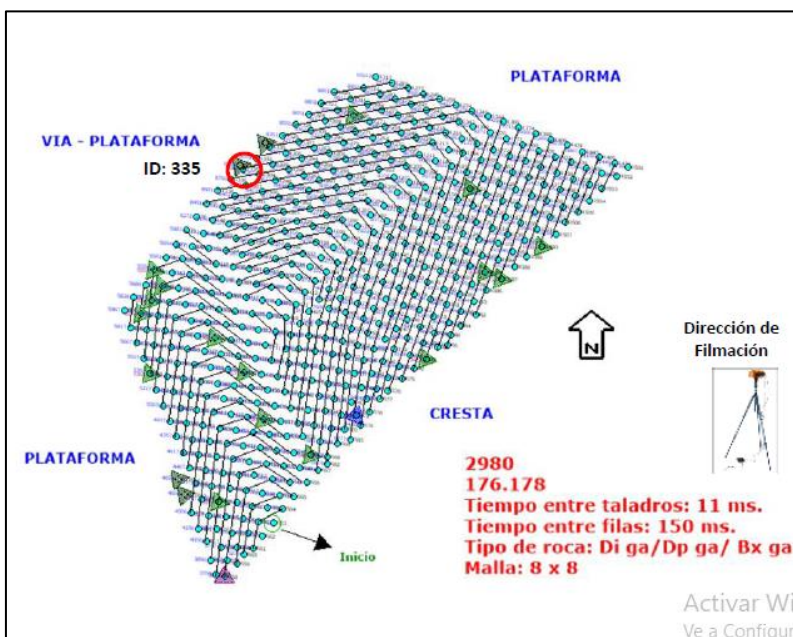
ANEXO 3

ANÁLISIS DEL TIEMPO DE RETENCIÓN DE TACO (GRAVILLA 2 PULGADAS)

PROYECTO 2980 176 178

Figura 4638

Diseño de amarre y taladro donde se realizó la prueba de retención proyecto 2980 176 178



Nota: Elaboración Propia.

MEDICIÓN DEL TALADRO 335

Figura 4739

Medición de la retención de taco (gravilla 2 pulgadas) del taladro 335



Nota: Elaboración Propia.

ANEXO 4

COMPARACIÓN DE LOS TIEMPOS DE RETARDO CON LOS DISTINTOS TACOS

Tabla 14

Comparación de tiempos de retardo con distintos tacos obteniendo 28.6% más tiempo de retardo

Descripción del Taco	Tiempo Inicio (ms)	Tiempo Final (ms)	Retención (ms)
5.5 m (100% Detritus)	2286	2475	189
5.5 m (100% Gravilla 2 pulgadas)	252	495	243



28.6 %

Nota: Elaboración Propia.

