



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**Mejoramiento de la tasa de excavación mediante la aplicación de una
emulsión encartuchada en el taco en la zona de mineral con alteración yeso
anhidrita en una mina en el sur del país, 2025**

Tesis presentada por:

Collantes Castillo, Kevin Bryan

ORCID: 0009-0007-3098-6877

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Dra. López Casaperalta de Díaz, Patricia Yaneth

ORCID: 0000-0001-5853-2833

Arequipa – Perú

2026

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 11 de Mayo del 2026

Dictamen: 016867-C-EPIM-2026

Visto el borrador del expediente 016867, presentado por:

2014600691 - COLLANTES CASTILLO KEVIN BRYAN

Titulado:

**MEJORAMIENTO DE LA TASA DE EXCAVACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA EMULSIÓN
ENCARTUCHADA EN EL TACO EN LA ZONA DE MINERAL CON ALTERACIÓN YESO ANHIDRITA
EN UNA MINA EN EL SUR DEL PAÍS, 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR**



**29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO
DICTAMINADOR**



**29640854 - MONTESINOS SOLORZANO CESAR GERARDO
DICTAMINADOR**



MEJORAMIENTO DE LA TASA DE EXCAVACIÓN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA EMULSIÓN ENCARTUCHADA EN EL TACO EN LA ZONA DE MINERAL CON ALTERACIÓN YESO ANHIDRITA EN I EN EL SUR DEL PAÍS, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUD

FUENTES PRIMARIAS

1 Submitted to Universidad Católica de Santa María
Trabajo del estudiante

2 repositorio.ucsm.edu.pe
Fuente de Internet

3 hdl.handle.net
Fuente de Internet

4 repositorio.uncp.edu.pe
Fuente de Internet

5 repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet

6 repositorio.unjbg.edu.pe
Fuente de Internet

7 alicia.concytec.gob.pe
Fuente de Internet

8 app.ingemmet.gob.pe
Fuente de Internet

9 Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo
Trabajo del estudiante

10 Submitted to Universidad Continental
Trabajo del estudiante

11 repositorio.unc.edu.pe
Fuente de Internet

12 Submitted to Universidad Tecnológica del Peru
Trabajo del estudiante

13 www.coursehero.com
Fuente de Internet

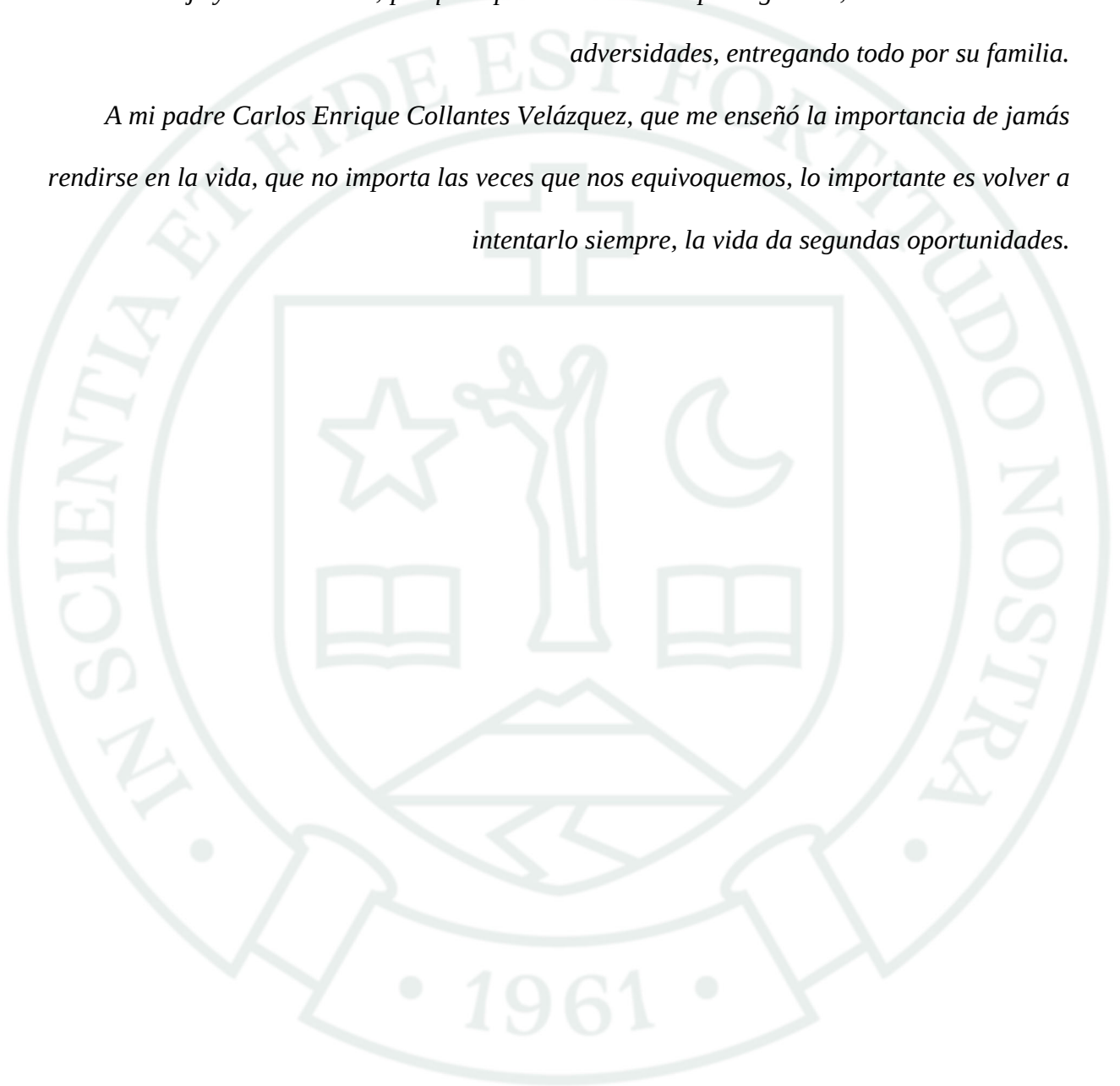
14 Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru
Trabajo del estudiante

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a dos personas en especial.

A mi madre Soledad Amanda Castillo Mendoza, que me enseñó el verdadero significado del coraje y la resiliencia; porque a pesar de todo siempre sigue ahí, luchando contra las adversidades, entregando todo por su familia.

A mi padre Carlos Enrique Collantes Velázquez, que me enseñó la importancia de jamás rendirse en la vida, que no importa las veces que nos equivoquemos, lo importante es volver a intentarlo siempre, la vida da segundas oportunidades.



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi casa de estudios, la Universidad Católica de Santa María. Lugar que me entregó todas las herramientas para desarrollarme profesionalmente en lo que más amo, la ingeniería de Minas.

Quisiera agradecer al Ing. Hardam Basanta, que ha sido para mí no solo un mentor, sino también la bitácora que quisiera seguir; un verdadero apasionado por la Ingeniería de Minas. Al Ing. Yoshiro Miranda, que además de ser un gran profesional, es un excelente ser humano, y un gran líder del que pude aprender tanto. Al Ing. José Poma, uno de los referentes dentro de la industria de los explosivos, que me motiva a seguir creciendo profesionalmente. Por último, me gustaría agradecer a mis docentes de la Escuela Profesional de la carrera de Ingeniería de Minas, dado que todos ellos aportaron en mi formación profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda la implementación de una emulsión encartucha en taladros de producción para la zona de taco (Senatel™ Pulsar™), teniendo como objetivo demostrar la mejora en la tasa de excavación, evaluando para ello los resultados obtenidos con respecto a proyectos con diseños de carga con y sin dicho elemento. Para lo cual hemos implementado dicha emulsión encartuchada en la zona de taco, donde la energía del explosivo no termina de fragmentar al macizo dadas las condiciones necesarias en los taladros (confinamiento). La zona de estudio comprende a la zona mineralizada (Fase inferior del tajo); en ambos casos, tanto para los proyectos con Senatel™ Pulsar™ como los proyectos sin dicho elemento, se realizaron disparos en la misma zona, con características litológicas y geológicas similares, así como también el diseño de carga y retardos, para que la comparativa refleje datos correctos; además dicha zona al encontrarse en la parte más profunda del tajo representa al macizo más afectado por la alteración yeso-anhidrita. Lo cual resulta muy conveniente para realizar nuestras pruebas, puesto que se requiere mejorar la fragmentación en dicha zona. Después de haber realizado las pruebas correspondientes y su análisis comparativo respectivo mostró que hubo un incremento del 2,68% (164,84 t/h) en la tasa de excavación, demostrando así el poder rompedor que posee dicha emulsión encartuchada.

Palabras Clave: Emulsión encartuchada, tasa de excavación, voladura.

ABSTRACT

This research addresses the implementation of a packaged emulsion in production drill holes for the stemming zone (Senatel™ Pulsar™), aiming to demonstrate the improvement in the dig rate by evaluating the results obtained in projects with and without this emulsion. The cartridge emulsion was implemented in the stemming zone, where the explosive energy does not fully fragment the rock mass due to the necessary conditions in the drill holes (confinement). The study area comprises the mineralized zone (lower phase). In both cases, for projects with and without Senatel™ Pulsar™, blasts were carried out in the same zone, with similar lithological and geological characteristics, as well as identical charge designs and delays, to ensure accurate data for comparison. Furthermore, this zone, being located in the deepest part of the pit, represents the rock mass most affected by gypsum-anhydrite alteration. This is very convenient for conducting our tests, since improved fragmentation in that area is required. After carrying out the corresponding tests and their respective comparative analysis, it was shown that there was a 2,68% increase (164,84 tph) in the excavation rate, thus demonstrating the breaking power of this cartridged emulsion.

Key words: Packaged emulsion, dig rate, blasting.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del Problema	4
1.2. Objetivo de la Investigación	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. Preguntas de Investigación	5
1.3.1. Pregunta general	5
1.3.2. Preguntas específicas	5
1.4. Línea de Investigación.....	6
1.5. Palabras Clave	6
1.6. Solución Propuesta	6
1.6.1. Justificación e importancia	6
1.6.2. Descripción de la Solución	7
2. CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1 Estado del Arte	9
2.2 Bases Teóricas de la Investigación	11
2.2.1 Tasa de Excavación	11
2.2.2 Emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™	12
2.2.3 Emulsión sensibilizada Fortis™ Extra.....	13
2.2.4 Nitrato de Amonio de Baja Densidad Acron	14
2.2.5 Pentex™ CD - 900	15
2.2.6 Detonador electrónico Ikon™ III.....	15
2.2.7 Detonador no eléctrico Exel™ MS.....	16
2.2.8 Sistema de iniciación.	17
2.2.9 Medición de la fragmentación	20
2.2.10 Diseño de la voladura	21
2.2.11 Tipos de Taladros	25
2.2.12 Litología de la zona de estudio	26
2.2.13 Coeficiente de uniformidad.	26

2.3	Generalidades de la Zona de Estudio.....	27
2.4	Definición de Términos	30
2.5	Hipótesis de Investigación.....	31
2.5.1	Hipótesis general	31
2.5.2	Hipótesis específicas.....	31
2.6	Variables	32
2.6.1	Variable Independiente.....	32
2.6.2	Variable Dependiente	32
2.6.3	Operacionalización de las Variables	32
3.	CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	33
3.1	Alcance y Limitaciones	34
3.2	Aporte.....	34
3.3	Tipo y Nivel de Investigación.....	34
3.4	Población y Muestra	35
3.4.1	Población.....	35
3.4.2	Muestra.....	35
3.5	Métodos o Técnicas de Recolección de Datos	35
3.6	Plan Análisis de Datos.....	35
4.	CAPÍTULO IV ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	38
4.1	Análisis e Interpretación de Resultados	39
4.1.1	Parámetros generales	39
4.1.2	Establecimiento Línea Base Explosivo Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™	40
4.1.3	Implementación del Explosivo Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™	54
4.2	Prueba de Hipótesis	66
4.2.1	Prueba de hipótesis general.....	66
4.2.2	Prueba de hipótesis específicas	67
	CONCLUSIONES	70
	RECOMENDACIONES	71
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades Técnicas de la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™	12
Tabla 2. Propiedades Técnicas de la Emulsión sensibilizada Fortis™ Extra	13
Tabla 3. Propiedades Físicas del nitrato de amonio de baja densidad Acron	14
Tabla 4. Operacionalización de las Variables	32
Tabla 5. Indicadores de Fragmentación Cliente	39
Tabla 6. Características de los explosivos utilizados	39
Tabla 7. Disparos involucrados en el establecimiento de la Línea Base con sus características	41
Tabla 8. Tasa de Excavación de Disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ ..	48
Tabla 9. Estadística de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025	49
Tabla 10. P(80) de los Disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™	50
Tabla 11. Estadística del P(80) Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025	51
Tabla 12. Coeficiente de Uniformidad de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™	52
Tabla 13. Estadística del Coeficiente de Uniformidad Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025	53
Tabla 14. Disparos realizados con la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™ involucradas en el análisis con sus características	55
Tabla 15. Tasa de Excavación de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™	60
Tabla 16. Estadística de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025	61
Tabla 17. P(80) de los diferentes disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™	62
Tabla 18. Estadística del P(80) Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025	63
Tabla 19. Coeficiente de Uniformidad de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™	64
Tabla 20. Estadística del Coeficiente de Uniformidad Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025	65
Tabla 21. Comparativo de indicador Tasa de Excavación	66
Tabla 22. Comparativo de indicador P(80)	67
Tabla 23. Comparativo de indicador “n”	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pentex™ CD - 900.....	15
Figura 2. Ikon™ III.....	16
Figura 3. Excel™ MS	16
Figura 4. Logger II.....	18
Figura 5. Cable Arnés	19
Figura 6. Blaster 3000	20
Figura 7. Menú de reglas de cargúio SHOTPlus™	21
Figura 8. Secuencia de amarre SHOTPlus™.....	23
Figura 9. Cuerpo mineral de la zona de estudio	28
Figura 10. Unidad MMU - Bulmaster™ 7	30
Figura 11. Diseño de carga proyecto de voladura 01 - Julio 2025.....	42
Figura 12. Secuencia de salida proyecto de voladura 01 - julio 2025.....	43
Figura 13. Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 01 - julio 2025	43
Figura 14. Diseño de carga proyecto de voladura 08 - agosto 2025.....	44
Figura 15. Secuencia de salida proyecto de voladura 08 - agosto 2025.....	45
Figura 16. Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 08 - agosto 2025	45
Figura 17. Diseño de carga de proyecto de voladura 11 - septiembre 2025.....	46
Figura 18. Secuencia de salida proyecto de voladura 11 - septiembre 2025.....	47
Figura 19. Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 11 - septiembre 2025	47
Figura 20. Gráfico del comportamiento de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025.....	49
Figura 21. Gráfico del comportamiento del P(80) Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025.	51
Figura 22. Gráfico del comportamiento del coeficiente de uniformidad Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025.	53
Figura 23. Diseño de carga de proyecto de voladura 16 - octubre 2025.....	56
Figura 24. Secuencia de salida proyecto de voladura 16 - octubre 2025	57
Figura 25. Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 16 - octubre 2025.....	57
Figura 26. Diseño de carga de proyecto de voladura 22 - noviembre 2025.....	58
Figura 27. Secuencia de salida proyecto de voladura 22 - noviembre 2025	59
Figura 28. Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 22 - noviembre 2025.....	59
Figura 29. Gráfico del comportamiento de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025.....	61
Figura 30. Gráfico de comportamiento del P(80) Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025.....	63

Figura 31. Gráfico de comportamiento del coeficiente de uniformidad Fortis™ Extra 70 con
Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025..... 65



INTRODUCCIÓN

El proceso de voladura es la etapa principal dentro de la cadena productiva de la minería, dado que en función del performance de la voladura depende la fragmentación del material. Por consiguiente, está íntimamente ligado a procesos continuos, como el carguío, acarreo y conminución.

En cuanto a la tasa de excavación, esta también se ve afectada por las voladuras que se realizan, dado que depende principalmente del material fragmentado. Si tenemos una mejor fragmentación entonces nuestro indicador clave de desempeño que es la tasa de excavación aumentará su valor. Para poder obtener una mejor fragmentación de nuestro macizo rocoso a disparar, esta depende de muchas variables, variables que no podemos controlar, como la geología y litología del lugar; pero también tenemos variables que, si se pueden controlar, y en nuestro caso como encargados del proceso de voladura, podemos tomar acción sobre estos, tales variables son el factor de potencia, el material del taco, los tiempos de retardo, elementos adicionales y el tipo de explosivo.

Para este caso en específico hemos tomado a la variable elemento adicional para mejorar nuestra fragmentación y por ende nuestra tasa de excavación, utilizando en esta ocasión una emulsión encartuchada (Senatel™ Pulsar™) que se coloca en la zona de taco, ayudando a la columna explosiva a fragmentar de manera más homogénea todo el frente disparado.

Esta implementación que estamos realizando, la estamos haciendo dadas las condiciones del terreno, puesto que la alteración que posee la zona de estudio (yeso-anhidrita), es una alteración que hace que a medida que vayamos profundizando en el minado el macizo se vuelve mucho más competente, siendo un reto el poder cumplir con los kpi's que nuestro cliente solicita, en este caso la tasa de excavación.

En ese sentido, es que en el capítulo 1 estamos planteando el problema que tenemos, que como se mencionó anteriormente es la alteración yeso-anhidrita que está presente en nuestra zona de estudio.

En el capítulo 2 estamos realizando los fundamentos teóricos, donde se tomaron como ejemplos para poder desarrollar la presente investigación, casos parecidos en donde las variables que podemos controlar son modificadas y se evalúan los resultados, analizando como afectan dichos cambios en la tasa de excavación, y para poder concluir si las variables modificadas cumplen con lo requerido por dichas investigaciones. También podemos analizar cómo es que se comportó la emulsión encartuchada en dichas realidades, información que nos es relevante para la presente investigación. Además, hemos podido profundizar en la influencia que posee el proceso de la voladura, en la etapa de molienda.

En el capítulo 3 estamos detallando la metodología y la forma en que vamos a recolectar los datos, para que nuestra comparación se realice de la manera correcta y nuestros datos no difieran mucho, haciendo que los resultados obtenidos sean precisos.

En el capítulo 4 hemos realizado nuestro levantamiento de la información, mostrando en primer lugar los resultados obtenidos por las voladuras antes de implementar la emulsión encartuchada, por un periodo de 3 meses, y luego se levantó la información correspondiente a los 2 meses siguientes que es donde se implementó la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™. De esta manera concluyendo en una comparativa entre ambos escenarios para posteriormente realizar nuestra discusión, conclusión y recomendaciones correspondientes obtenidos como resultado de nuestra investigación.



PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En minería superficial la fragmentación es directamente responsable de un KPI muy importante que da seguimiento a la productividad de las palas de carguío, llamado tasa de excavación o “dig rate”. De ahí la relevancia de darle un seguimiento y mejorar continuamente en este aspecto de la operación unitaria de perforación y voladura. Una baja en la tasa de excavación representa un incremento de los costos significativo. Así entonces, en una mina en el sur del país, el último año se presenta un problema que es la baja tasa de excavación, esto a razón de la presencia de una alteración litológica de yeso anhidrita, la cual incrementa su dureza a medida que profundiza el tajo. El objeto de estudio del presente estará enfocado en la mejora de la tasa de excavación (“Dig rate”), dado que los objetivos de producción mina están en proyección de una profundización del tajo. Así, por tanto, a medida que profundicemos el minado en la zona de estudio encontraremos macizos rocosos de características muy duras, según la clasificación de Bienawski, específicamente de 140 a 165 MPa, y su presencia a su vez será mucho más habitual. Dadas estas condiciones es que nuestra tasa de excavación se verá afectada; influyendo así a que este KPI establecido por mina, no se cumpla. Luego de evaluar alternativas para mejorar aquella tasa, se decide implementar una emulsión encartuchada en la zona de taco (Senatel™ Pulsar™), por consiguiente, estaremos mejorando el coeficiente de uniformidad de la fragmentación. La implementación de este explosivo nos permitirá mejorar la fragmentación y por ende la tasa de excavación. Partiendo de esta premisa y más adelante sirviendo como base para ir modificando otras variables en la actividad de perforación y voladura como la malla de perforación.

1.2. Objetivo de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Mejorar la tasa de excavación en la zona de mineral con alteración yeso anhidrita mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Mejorar el P(80) de la fragmentación para alcanzar el KPI mina.
- Mejorar el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.
- Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™.

1.3. Preguntas de Investigación

1.3.1. Pregunta general

¿Es posible mejorar la tasa de excavación en la zona de mineral con alteración yeso anhidrita mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?

1.3.2. Preguntas específicas

- ¿Es posible mejorar el P(80) de la fragmentación para alcanzar el KPI mina mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?
- ¿Es posible mejorar el coeficiente de uniformidad de la fragmentación mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?

- ¿Es posible diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™?

1.4. Línea de Investigación

Optimización de procesos mineros

1.5. Palabras Clave

Tasa de excavación, dig rate, fragmentación, fragmentation, voladura, blasting, emulsión encartuchada, packaged emulsion.

1.6. Solución Propuesta

1.6.1. Justificación e importancia

Justificación teórica

La alteración yeso-anhidrita que encontramos en la zona de estudio, tiene la particularidad de que, a mayor profundidad, el macizo rocoso se vuelve más competente, por ende, los métodos de fragmentación que se utilizan requieren de una mayor ingeniería para cumplir con el KPI de fragmentación que requiere el cliente. En este caso estamos adicionando una emulsión encartuchada en la zona de taco. La interacción de la energía en la zona de taco normalmente es baja, dada que dicha zona se utiliza para confinar la energía del explosivo y pueda fragmentar el macizo rocoso, por consiguiente, al utilizar la emulsión encartuchada estamos apoyando con la fragmentación de la zona de taco.

Justificación práctica

La presente investigación se justifica desde el punto de vista práctico, dado que proponemos una alternativa de solución para afrontar el problema de la presencia de la alteración yeso-anhidrita, la cual incrementa la dureza del macizo rocoso influenciando negativamente en los resultados de la voladura, tal como la fragmentación. Proponemos una implementación de una emulsión encartuchada en zona de taco, el cual por sus características

debe mejorar los resultados de las voladuras, en el aspecto de la fragmentación que tiene relación directa con la tasa de excavación.

Justificación económica

En tema de costos, en la presente investigación al hacer uso de una emulsión encartuchada en zona de taco, el costo del producto es evidentemente mayor; pero si lo analizamos desde un punto de vista macro, podemos entender que, según el requerimiento de planta, incluso se homogeniza el material roto, estamos ahorrando costos en planta.

1.6.2. Descripción de la Solución

Como solución aplicaremos la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ que se aplicará en la zona del taco, esperando mejorar de esta forma la fragmentación producto de la voladura el cual impactará directamente en el KPI Tasa de Excavación, de esta manera cumpliremos con la productividad mina objetivo. Según la información del producto a aplicar y los resultados analizados en diferentes investigaciones de dicha emulsión encartucha, se espera un correcto performance del explosivo respecto a la fragmentación. Los posibles inconvenientes son el dinamismo de la mina con respecto de la disposición de las palas de excavación, dado que requerimos hacer un análisis de la tasa de excavación, con ciertas condiciones, para hacer un análisis comparativo entre los diferentes escenarios (sin y con la aplicación del producto), por consiguiente, necesitamos que se cumplan las mismas condiciones para ambas pruebas. Implementando esta emulsión encartuchada se espera mejorar la tasa de excavación, así como también el P80 de fragmentación, y el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

8.1 Estado del Arte

En la tesis titulada “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (dig rate), en el tajo oeste de minera Yanacocha, Cajamarca 2017”, la autora evalúa los efectos de las cámaras de aire (Cartuflex y Aquadeck) en la voladura para incrementar la tasa de excavación (dig rate), realizando 9 voladuras en terrenos con alteraciones Argílico avanzado – propilítico y con dureza de roca media a dura (45 MPa – 80 MPa), utilizando en 6 de estas 9 voladuras Cartuflex y Aquadeck, para poder evaluar el correspondiente Dig Rate; obteniendo como resultado que utilizando el Cartuflex incremento el Dig Rate en 35%, y con el Aquadeck 85%, generando un ahorro anual de US\$ 154 850 usando Aquadeck y US\$ 144 350 usando Cartuflex. (Machuca Cotrina, P., 2018)

En la tesis titulada “Implementación de emulsiones energéticas Fortis Extra en Roca Traquita” el autor demuestra los beneficios que ofrece la emulsión energética (Fortis Extra) en el proceso de voladura en Roca Traquita, para lo cual se evaluaron 06 voladuras en Roca Traquita, controlando la calidad de la mezcla explosiva; monitoreando las vibraciones, eyecciones y secuencia de voladura. Posteriormente se realizó un análisis de fragmentación de los frentes de minado, también evaluando el tonelaje cargado, tasa de excavación de los equipos de carguío y finalmente realizando una evaluación económica del uso del Fortis™ Extra. Obteniendo como resultados una mejora en la tasa de excavación en 2,5% a 14,8 %. (Sueros Lezama, C., 2021)

En la tesis titulada “Evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas de la Minera Las Bambas – Cotabambas, Apurímac”, el autor evaluó el rendimiento de la emulsión gasificada Fortis™ Extra 65/35 en comparación con el explosivo que se utilizaba Fortis™ Advantage (65/35 y 70/30) a base de emulsión matriz, para lo cual se inició con la

calibración de los camiones fábrica, para luego realizar las pruebas in situ para evaluar los parámetros de estudio antes (propiedades del explosivo), durante (desempeño del explosivo) y después de la voladura (fragmentación y tasa de excavación). Tras el análisis correspondiente se determinó que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Logrando un ahorro importante sin afectar la tasa de excavación de los equipos de minado, además de eliminar la generación de gases nitrosos (Quispe Arque, J., 2018)

En el paper de conferencia titulado “Mejora de fragmentación a través de la aplicación de carga explosiva en el taco para la reducción de sobre tamaños en roca de alta dureza”, los autores abordaron la implementación del uso de un explosivo encartuchado en la zona de taco para reducir los sobre tamaños. Tras la implementación de dicho explosivo se disminuyó el P(80) en 6%. (Cárdenas, J., 2022)

En el paper de conferencia titulado “Drill-to-mill plant optimization at altynalmas pustynnoye gold mine”, los autores abordaron las oportunidades que existen para aumentar el rendimiento de la molienda y la mejora de la mina en general, así como también el desempeño de la concentradora. El alcance del proyecto incluyó la caracterización del yacimiento in situ, optimización en perforación y voladura. Tras la implementación de la metodología de perforación a planta EMC, se lograron beneficios significativos en la mina como el incremento en la tasa de excavación del 25% al 35%. (Esen, S. et al., 2019)

8.2 Bases Teóricas de la Investigación

8.2.1 Tasa de Excavación

Dentro de los parámetros de fragmentación post voladura con los que generalmente se trabaja en la industria, se encuentra la “Tasa de Excavación”; dicho parámetro junto con el P80 y el coeficiente de uniformidad, nos indican el performance que tiene nuestro explosivo.

La Tasa de excavación o también llamada Dig Rate nos mide la relación entre el carguío del material volado en toneladas entre un tiempo determinado (1 hora), dicho parámetro es propio de los equipos de carguío.

Es importante recalcar que la Tasa de Excavación no contempla tiempos de cuadrado ni demoras operativas, por consiguiente, el resultado de nuestra voladura tiene un impacto directo en este parámetro.

Así mismo se debe recalcar que para el análisis correcto del performance de una voladura es sumamente necesario evaluar la tasa de excavación dado que por lo general la información analizada del P(80) es realizada por parte de nuestro servicio de asistencia técnica, por el contrario la tasa de excavación proviene de la información del sistema Dispatch que posee el cliente, por ende ambos resultados deben de conversar para que podamos confirmar el análisis correcto en cuanto a la fragmentación.

En nuestro caso de estudio toda esta información se almacena en una base de datos que posee el cliente en su sistema Dispatch, cabe recalcar que dicha información no se almacena por disparos, esta información viene almacenada por Palas, registrando el tiempo en que se realiza cada baldada.

8.2.2 Emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™

La emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, es un explosivo robusto, de máxima potencia, que se sensibiliza con un detonador; ; cabe recalcar que por las características en cuanto a la distribución energética que posee este explosivo no se debe de utilizar en la fila de taladros que se encuentra hacia una plataforma próxima, dado que podría contribuir en el efecto de la sobre rotura y así dañar las próximas plataformas, así mismo no se debería utilizar en taladros de amortiguación por su naturaleza anteriormente mencionada.

La emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ dada sus propiedades técnicas compensa su energía en otras áreas como son el chancado, dado que mejora el coeficiente de uniformidad en la fragmentación, significando un ahorro de costos significativo. Se puede utilizar tanto para taladros secos como para taladros con presencia de agua dado que es altamente resistente al agua.

Tabla 1

Propiedades Técnicas de la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™

Technical Properties	
Product	Senatel™ Pulsar™
Cartridge Density (g/cm3)	1,23
Typical VOD (m/s)	4 500
Water Resistance	Excellent
Relative Effective Energy (REE)	
Relative Weight Strength (%)	123
Relative Bulk Strength (%)	180

Nota. Tomado de *Ficha técnica Senatel™ Pulsar™* página web Orica

8.2.3 Emulsión sensibilizada Fortis™ Extra

La emulsión Fortis™ Extra es una emulsión que nos permite generar junto con un nitrato de baja densidad una mezcla explosiva energética, dicha emulsión esta sensibilizada con nitrito de sodio, lo que nos ayuda a que esponje la mezcla explosiva y se generen los puntos calientes. Esta emulsión está diseñada específicamente para trabajar con taladros con agua, dada la complejidad de la mina es ideal el uso de esta emulsión sensibilizada Fortis™ Extra.

Así mismo es importante mencionar que dicha emulsión también viene inhibida (Fortis™ Eclipse), lo que nos permite poder trabajar con roca reactiva con normalidad.

Tabla 2

Propiedades Técnicas de la Emulsión sensibilizada Fortis™ Extra

Technical Properties	
Product	Fortis™ Extra
Density (g/cm³)	1,10 – 1,30
Minimum Blasthole Diameter (mm)	64
Hole-Type	Wet and dry
Delivery System	Pumped
Typical VOD (m/s)	4 000 to 6 200
Heat of Explosion (MJ/kg)	3,1
Relative Effective Energy (REE)	
Relative Weight Strength (%)	102 -115
Relative Bulk Strength (%)	140 - 187
CO₂ Output (kg/t)	182
Sleep Time (d)	21

Nota. Tomado de Ficha técnica Fortis™ Extra página web Orica

8.2.4 Nitrato de Amonio de Baja Densidad Acron

El nitrato de amonio Acron, es un nitrato de amonio de baja densidad (0,78 g/cm³), dicho nitrato es el recomendado para trabajar con la emulsión Fortis™ Extra, este nitrato posee un mayor grado de absorción de combustible en comparación con los nitratos de amonio de alta densidad.

Dicho nitrato llega al site en 2 presentaciones, la primera es empaquetado en bolsas big back de diferentes tonelajes (1,00 Ton, 1,25 Ton y 1,50 Ton) por otra parte también contamos con la presentación a granel, que es transportada en cisternas hasta la operación (Cancha de nitrato).

Tabla 3

Propiedades Físicas del nitrato de amonio de baja densidad Acron

Physical Properties	
Granule size	
1-2 mm, min	85-95%
less than 1 mm and more than 3 mm, max	5-15%
less than 1 mm, max	2%
Fuel absorption, min	8%
Holding capacity for fuel, min	5,5-6,5%
	0,76-0,84
Bulk sensity	g/cm ³
	5 (0,5)
	N/granule
Static granule strength, min	(kg/granule)
Free flowing	100%

Nota. Tomado de Ficha técnica Nitrato de Amonio Low Density Acron

8.2.5 Pentex™ CD - 900

Es un alto explosivo que nos ayuda para iniciar la columna explosiva, dadas sus características como su VOD que es de 7 200 m/seg; es también conocido como cebo o primer. Está compuesto por Pentolita y TNT. Para nuestro caso de estudio, en mina utilizamos Pentex™ CD de 2 libras (900 gr), dada las condiciones que posee el sitio, ya que al ser más pesado el alto explosivo se puede trabajar con mayor facilidad y versatilidad en zonas con abundante agua.

Figura 1

Pentex™ CD - 900

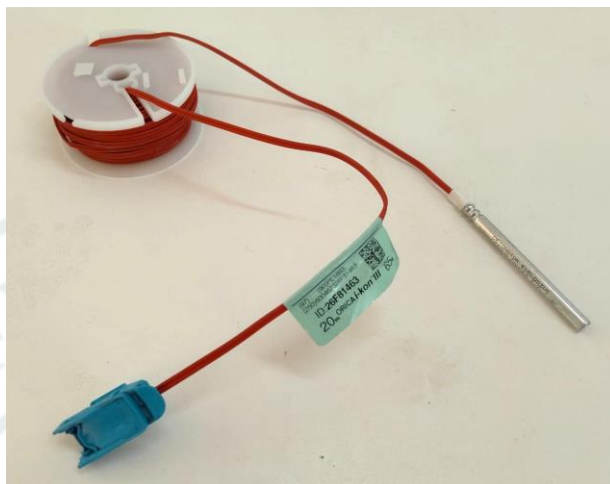


8.2.6 Detonador electrónico Ikon™ III

El detonador electrónico Ikon™ III es el sistema de voladura electrónica más sofisticado que hay en el mercado, es un detonador que posee una señal bidireccional, lo que nos ayuda a detectar detonadores que presenten errores realizando testeos, para que de esta manera podamos darle solución antes de realizar el tapado respectivo y así evitar tiros cortados.

Figura 2

Ikon™ III



8.2.7 Detonador no eléctrico Exel™ MS.

El detonador no eléctrico Exel™ MS, posee una alta potencia con intervalos de milisegundos. Este dispositivo se utiliza como medida de seguridad en la zona de estudio, dado que, si el detonador electrónico no replica su señal al ser logeado luego del tapado, podemos realizar un back up con dicho detonador y así evitar el tiro cortado.

Figura 3

Exel™ MS



8.2.8 Sistema de iniciación.

Nuestro sistema de iniciación es electrónico, para lo cual utilizamos diferentes equipos y elementos que nos ayudan a ejecutar el disparo; pero esto no exime de que utilicemos detonadores no eléctricos (Exel™ MS) para que podamos asegurar el disparo en caso de que se detecten detonadores electrónicos que no replican por cortes de línea o fugas altas, de manera que podamos usar como back up dichos detonadores no eléctricos. Para nuestro sistema de iniciación utilizamos diferentes equipos y elementos que componen dicha iniciación electrónica:

A. Logger II

El Logger es un equipo que nos permite almacenar la información de hasta 500 detonadores Ikon™ III, pero por un tema de buenas prácticas utilizamos como límite la cantidad de 300 detonadores por Logger.

Dicho instrumento lo utilizamos en 2 etapas: La primera se presenta después de realizar el carguío, con la finalidad de corroborar que nuestros detonadores electrónicos no presenten fallas (puede ocurrir que durante el carguío por las condiciones del terreno se haya cortado la línea), y si no presenta fallas se procede al tapado del taladro.

La segunda etapa se da durante el amarre de los detonadores, para lo cual como se mencionó previamente utilizamos varios Logger II dependiendo de la cantidad de detonadores en el proyecto, y así poder conectarlos para registrar los con sus respectivos tiempos asignados.

Otra particularidad de este equipo es que nos permite cambiar los tiempos durante el amarre, así mismo se pueden agregar más taladros y detonadores a la configuración inicial con la cual se inicia el amarre.

Figura 4

Logger II



Nota. Tomado de *i-kon™ Logger II* (p. 1), por Orica, 2021, Electronic Blasting System.

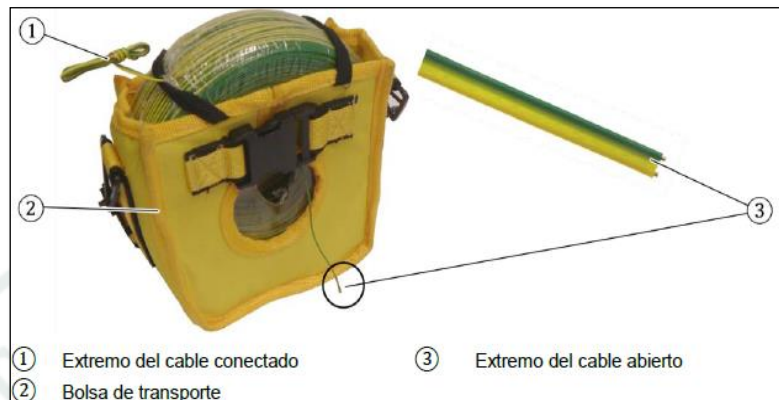
B. Cable de Arnés

El cable de arnés es un cable de cobre de 0.6 mm de diámetro y 500 metros de longitud; este cable se conecta con el Logger II para que se pueda realizar el amarre del disparo, sirviéndonos como línea de encorche para los diferentes detonadores electrónicos Ikon™ III y de esta manera comunicándolos así con el Logger II para almacenar su información.

Cabe que luego de realizar el amarre, solamente el personal involucrado en esta tarea debe de estar en el proyecto, dado que, si se llegase a pisar el cable de arnés, esto podría generarnos fugas en el amarre, por lo que se requeriría de realizar una búsqueda binaria para detectar los cortes y así poder darle solución a este inconveniente.

Figura 5

Cable Arnés



Nota. Tomado de *i-kon™ Logger II* (p. 21), por Orica, 2021, Electronic Blasting System.

C. Blaster 3000

El Blaster 3000 es un equipo electrónico que nos permite conectar con los diferentes Logger II (hasta 6 Logger II), para poder inicializar el proceso de voladura, programar el disparo y por último disparar de manera remota.

La particularidad que tiene este equipo es que posee 3 modalidades de funcionamiento: en primer lugar, nos sirve como un equipo remoto, el cual se instalará en un punto cercano al disparo, en donde se conectará con los diferentes Logger II y así nos servirá como un punto de comunicación de los detonadores del proyecto hacia otro punto distante que sea seguro, en donde podemos hacer los comando de disparo; en segundo lugar nos sirve como controlador, esto quiere decir que se ubicará en una zona segura desde donde realizaremos los comandos de fuego para iniciar el disparo, pero comunicado con el Blaster 3000 remoto; y por ultimo también puede funcionar como repetidor, quiere decir que se puede instalar en un punto medio para que sirva como enlace entre el remoto y el controlador, así dándonos mejor versatilidad y seguridad a la hora de realizar un disparo.

Figura 6

Blaster 3000



Nota. Tomado de *i-kon™ Blaster 3000* (p. 1), por Orica, 2021, Electronic Blasting System.

8.2.9 Medición de la fragmentación

En cuanto a la medición de la fragmentación, existen diferentes metodologías para realizar esta actividad, en nuestro caso, para nuestro estudio se realizará el método manual, utilizando para esto un programa llamado Split, el cual nos sirve para realizar el análisis de las imágenes del frente de minado, por consiguiente se requiere que nos aproximemos a los diferentes frentes disparados para poder colocar 2 boyas de coloración roja, que nos sirven como guía en el programa Split para que pueda darle profundidad y vincule las proporciones de dichas esferas al tamaño de las rocas fragmentadas. Cabe recalcar que dicha actividad se realiza durante el cambio de guardia, que inicia desde las 7:00 de la mañana hasta las 7:30 de la mañana, dado que las Palas se encuentran inactivas y es seguro ingresar a los frentes de minado para poder tomar las fotografías que analizará el programa anteriormente mencionado, así mismo para realizar esta actividad se cuenta con un vigía.

8.2.10 Diseño de la voladura

A. Programa SHOTPlus™

Para el diseño de los diferentes disparos, nosotros utilizamos un Software de la empresa Orica, llamado SHOTPlus™, este programa nos brinda importantes herramientas que están involucradas en el proceso de voladura, de las cuales cabe recalcar 2:

- **Diseño de carga**

En cuanto al diseño de carga, este Software nos permite definir los diferentes tipos de taladros y sus características correspondientes a su columna de carga, material de taco y dispositivos de iniciación. Esto con diferentes finalidades, por ejemplo, para poder realizar simulaciones en cuanto a predicción de fragmentación, desplazamiento del material y zonas de exclusión para el disparo.

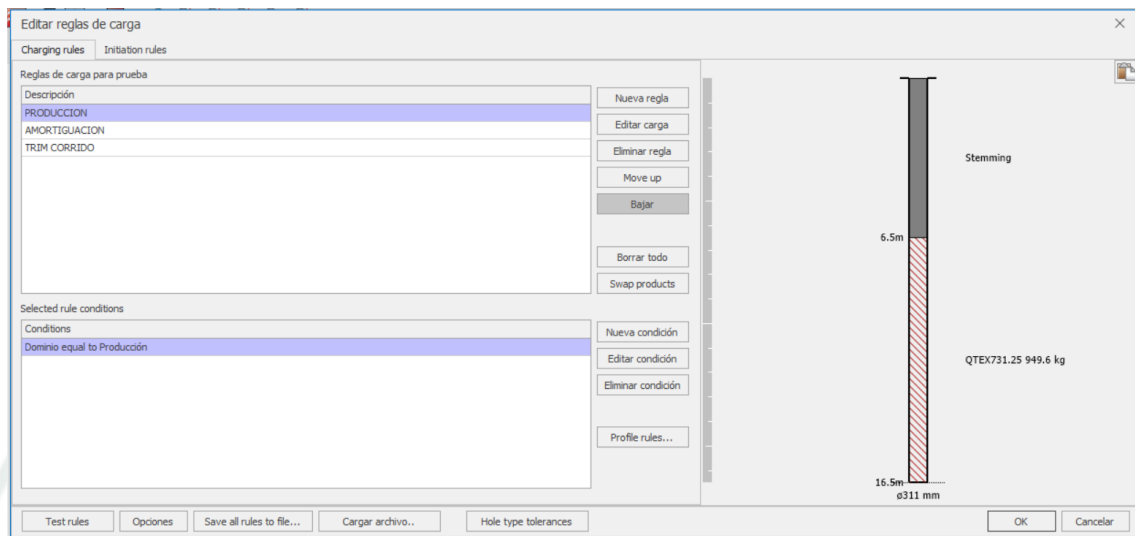
Así mismo el Software SHOTPlus™ se puede vincular con BlastIQ™ que es un digitalizador de la operatividad de la voladura, dichos parámetros establecidos en el SHOTPlus™ aparecen en BlastIQ™ para que se puedan cargar los diferentes proyectos de manera digital, respetando la información establecida para el carguío de dicho proyecto.

Así mismo, SHOTPlus™ puede descargar la información de BlastIQ™ y hacer una evaluación post carguío con información real que nos permite hacer análisis utilizando el estado real del proyecto.

Adicional a esto también se puede configurar a SHOTPlus™ para que la caracterización de los diferentes díselos de carga estén en función a información de la roca, si se tiene dicha información, el programa permite al usuario vincular características de una roca específica con un diseño de carga específico, optimizando así costos operativos.

Figura 7

Menú de reglas de carguío SHOTPlus™



- **Diseño de secuencia de voladura.**

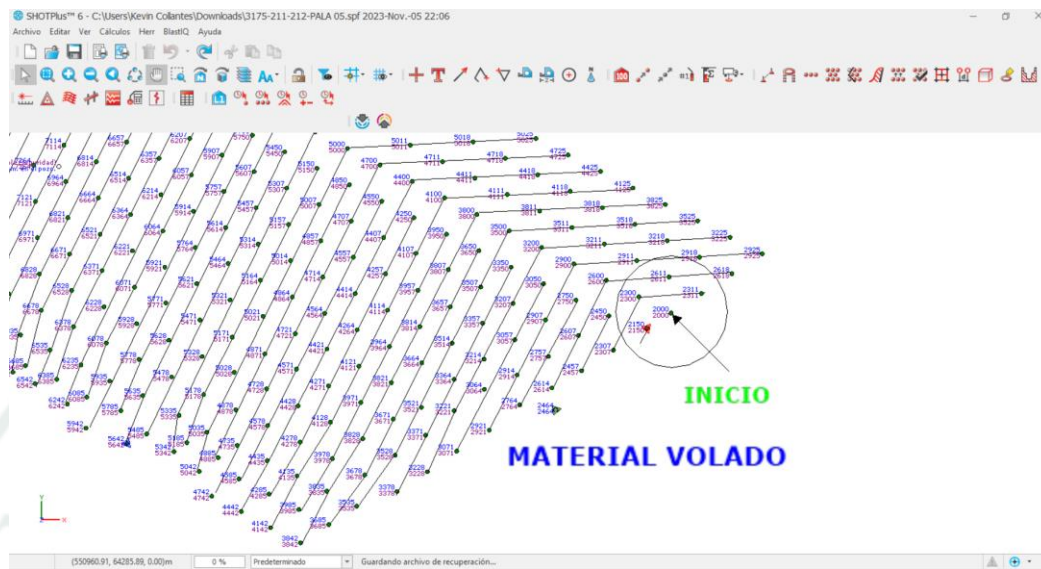
En cuanto a la secuencia de voladura el software nos permite colocarle los diferentes tiempos y secuencia en la cual saldrá nuestro disparo, a su vez con esta información podemos analizar la dirección de salida que tendrá el material, líneas de isotiempos, burden de alivio y acoplamientos.

Dicha información se transfiere a los diferentes Logger II que serán utilizados para codificar los detonadores que tenemos en el disparo configurado, para ello es que previamente se tiene estructurada la disposición del proyecto en el SHOTPlus™ (ubicación en el eje X, eje Y y eje Z), para que podamos trazar la secuencia de amarre.

Después de ejecutado el amarre y la voladura, podemos descargar la información de dichos Logger II para contrastar la información post voladura y hace poder realizar la reportabilidad pertinente.

Figura 8

Secuencia de amarre SHOTPlus™



B. Programa BlastIQ™

Con respecto del control de información proveniente de la parte operativa del proceso de voladura, nosotros contamos con un sistema altamente eficiente, donde nuestro principal objetivo es digitalizar dicha información.

Por lo general, para llevar este control en el proceso del carguío, se suele realizar mediante hojas físicas, en donde el operador del camión mezclador anota toda información relevante que nos orille a llevar el control pertinente del explosivo y todo lo que se le asocia a este, y en consecuencia podamos evaluar los resultados. El principal problema que uno puede encontrar al momento de utilizar hojas físicas, es que dicha información luego de ser anotada debe de ser transcrita a un formato virtual, para así poder llevar un control en el flujo de información, pero esto a su vez hace que la información no se encuentre disponible en cualquier momento.

Es en este punto donde la tecnología BlastIQ™ toma relevancia, dado que nos permite poseer la información en tiempo real de todo lo asociado a las voladuras que están en proceso de carguío e incluso las que ya hemos disparado.

BlastIQ™ trabaja junto con el software SHOTPlus™, en primer lugar, necesitamos crear los proyectos en SHOTPlus™ importando la ubicación de los diferentes taladros que pertenecen a un proyecto en específico y colocándole las reglas de carguío, tipificando los diferentes tipos de taladro y las condiciones asociadas a estos para que así se pueda tener un carguío adecuado, luego enlazando el diseño armado se puede subir a BlastIQ™.

BlastIQ™ cuenta con 2 programas: el primero es BlastIQ™ Mobile, que viene siendo la aplicación en donde el operador ingresa la información del carguío; el segundo es BlastIQ™ Insight, que es el visualizador de la información, en donde los usuarios designados pueden analizar toda la información en dashboards específicos que nos ayudan a tomar decisiones en tiempo real, optimizando de esta manera el proceso de Perforación & Disparos.

Un punto importante a destacar, es que el programa BlastIQ™ Mobile, cuenta con GPS, lo que hace fácil al usuario identificar los taladros que va a cargar, dado que muchas veces por temas operativos, se llegan a extraviar las estacas que contienen la información necesaria para realizar el carguío. Cabe mencionar también, que, al ser un sistema digitalizado, la información es certera, dado que cuando se utilizan hojas físicas, el usuario puede equivocarse con la información que transcribe, al igual que la persona que digita dicha información; esto por problemas de caligrafía o mecanografía.

Por último, se debe de mencionar que al ser un programa que digitaliza la información, el procesamiento de la data se hace de manera optimizada, reduciendo el tiempo de tipeo que un responsable emplea para digitalizar la información, simplificando una tarea que podría tomar medio día a unos minutos, permitiéndonos así poder analizar de manera mas precisa los resultados del proceso de carguío y los que son post voladura.

8.2.11 Tipos de Taladros

A. Taladros de Producción

Los taladros de producción son taladros con una profundidad de 16,5 m, dado que trabajamos con bancos de 15,0 m y consideramos 1,5 m de sobre perforación. Dichos taladros son los que contemplan mayor carga, en comparación a taladros como los de amortiguación o de trim.

B. Taladros de Amortiguación

Los taladros de amortiguación son taladros en donde se cuida la carga, aumentando el taco de 0,5 m a 1,0 m para que podamos evitar la sobre rotura en las plataformas. Estos taladros los ubicamos en la separación de los proyectos, hacia las plataformas, en la cresta (zonas que no posean cuerpo) y en la fila que se ubica antes de los taladros de trim, que son los que van pegados al talud.

C. Taladros de Trim

Estos taladros van pegados al talud, para cuidar la estabilidad de estos, dichos taladros son de 15 m y su configuración es con carga desacoplada, carga de fondo, una cama de material de detritus, otra carga superior y finalmente el material de taco.

D. Taladros de Inicio

Los taladros de inicio son taladros de producción en donde se cuida la carga, aumentando el taco en el primer taladro a 3 m y los 2 siguientes en 2 m, esto con la finalidad de evitar eyecciones en dichos taladros iniciales.

E. Taladros de Precorte

Los taladros de Precorte, son taladros de 5 pulgadas de diámetro que nos permiten generar un filtro hacia el talud, para que podamos cuidar la estabilidad de los mismos. Dichos taladros se cargan con Emulsión Encartuchada Senatel™ Power Split.

8.2.12 Litología de la zona de estudio

El tipo de yacimiento en el cual nos encontramos es un yacimiento tipo pórfido de cobre; dicha zona cuenta con la presencia de riolitas, andesitas y aglomerados.

Contamos con la alteración yeso-anhidrita en la zona central del tajo, dicha alteración está relacionada con la alteración Potásica y la presencia de sulfuros, donde se puede notar la manera de emplazarse en Brechas y rocas intrusivas el yeso.

En cuanto a su mineralización contamos con minerales asociados al cobre como calcopirita (CuFeS) y calcosina (CuS), también encontramos molibdenita (MoS) y Pirita (FeS).

La zona de estudio se realizará en la Fase inferior, que representa la zona central del tajo, por ende, es donde se encuentra dicha alteración yeso-anhidrita, que es la que está generando que el explosivo no cumpla con los resultados esperados en fragmentación. Contamos con la siguiente litología: Diorita con alteración yeso-anhidrita, Dacita porfirítica con presencia de brecha y alteración yeso-anhidrita, Diorita con presencia de brecha y alteración yeso-anhidrita, brecha con alteración yeso-anhidrita y dacita porfirítica con alteración yeso-anhidrita.

En cuanto a la litología de la zona de estudio, encontramos 3 tipos de rocas que predominan: Brecha angular con alteración yeso anhidrita (Bx-ga), Brecha de turmalina con alteración yeso anhidrita (BxT-ga) y Dacita propilítica con alteración yeso anhidrita (Dp-ga), los 3 tipos de rocas son muy similares, por ende, los diseños de carga han sido los mismos.

8.2.13 Coeficiente de uniformidad.

El coeficiente de uniformidad es un índice propuesto por Cunningham, el cual nos mide la uniformidad de los fragmentos productos de una voladura, dicho coeficiente se calcula en base a parámetros operativos, como el diámetro del taladro, relación burden/espaciamento, longitud de carga, etc. Pero para nuestro caso, el cálculo se realizó mediante el software Split.

Es importante mencionar dicho coeficiente, porque la zona de taco, es la que normalmente se ve afectada en cuanto a fragmentación, dada la condición de confinamiento que posee, en nuestro caso, al utilizar la emulsión encartuchada este coeficiente se ve afectado.

8.3 Generalidades de la Zona de Estudio

Ubicación

Nuestra zona de estudio está ubicada en la región sur de nuestro País, en el departamento de Tacna, provincia Jorge Basadre, distrito Ilabaya.

El acceso se realiza por la carretera Panamericana Sur, en donde existe un poblado llamado Camiara, desde donde se encuentra la vía que nos permite acceder al campamento minero, y por ende también a la mina.

Geología regional y local

Geología regional:

El yacimiento está ubicado en terrenos volcánicos mesozoicos y terciarios con intrusiones de apófisis dioríticas pertenecientes al Batolito Andino.

El tectonismo comprende al lapso geológico que se encuentra dentro del cretácico superior y el terciario inferior, lo que nos da como resultado dicho yacimiento de pórfido cúprico. Dichos tipos de yacimiento tienen una presencia considerable en los yacimientos mineros que se encuentran en el sur de nuestro País, y en el norte de Chile.

La orogénesis de nuestra zona de estudio comprende también a la responsable de la cordillera de los Andes.

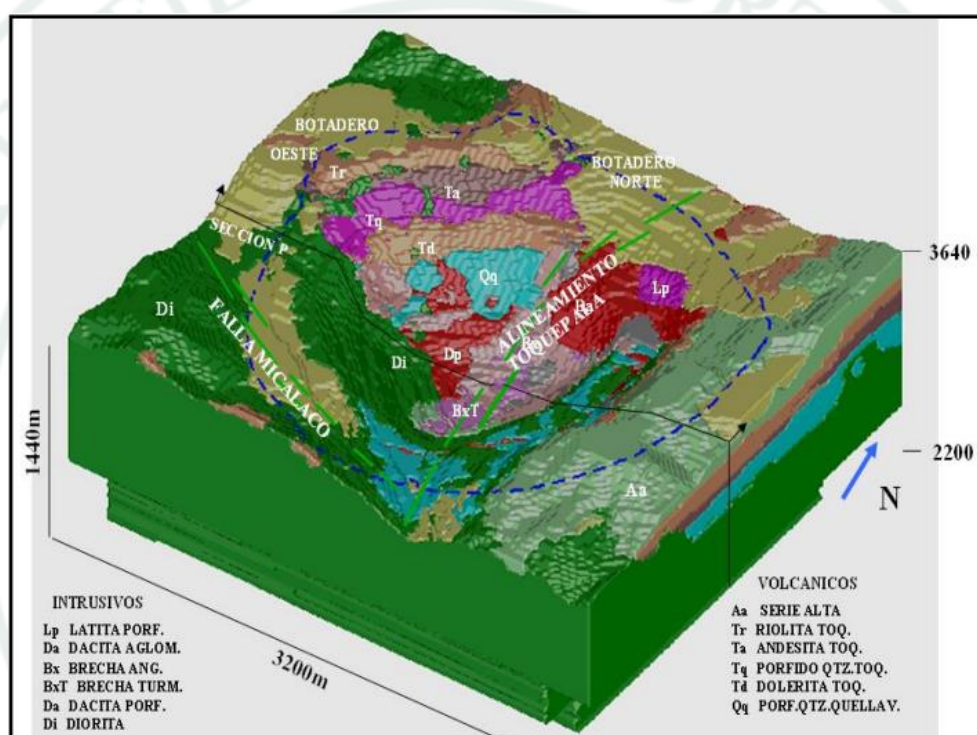
Geología local:

El tipo de depósito que posee nuestra zona de estudio es un pórfido de cobre, donde se encuentran rocas ígneas con composiciones químicas de ácidas a intermedias.

Nuestra zona de estudio ha sufrido continuos cambios en su estructura química, los principales minerales sulfurados que encontramos son la pirita, calcolpirita y calcosina supergénica. En cuanto a la alteración en dichos sulfuros, se puede notar que las que la presentan con mayor frecuencia son las dioritas y las brechas.

Figura 9

Cuerpo mineral de la zona de estudio



Explotación

La explotación de dichos recursos minerales se da mediante técnicas superficiales de minería. A la fecha de la investigación presente se cuentan con 3 fases que se explotan, la fase superior (material de desmonte), fase intermedia (material de desmonte) y la fase inferior (material de mineral).

Los minerales sulfurados son enviados a la planta concentradora, mientras que los minerales oxidados se lixivian, así mismo el material de desmonte es llevado al botadero.

Equipos

A la fecha de la investigación, la mina objeto de la presente investigación cuenta, con 09 palas, 02 cargadores frontales, 13 perforadoras primarias y 05 perforadoras secundarias. Debido a la magnitud del movimiento que presenta cuenta con 105 camiones mineros. Para la preparación de los diferentes terrenos se cuentan con 05 Tractores sobre ruedas.

Para el almacenaje del explosivo, se cuenta con 12 silos de emulsión que cuentan con un sistema de regletas para hacer el control diario del explosivo, así mismo contamos con 04 silos de nitrato que poseen un sistema digital de medición.

En cuanto al carguío del explosivo en los diferentes proyectos contamos con 06 unidades MMU (camiones mezcladores del explosivo), de los cuales cabe recalcar que 2 son camiones Bulk Master 07, que poseen tecnología muy avanzada, dichos equipos diseñados para realizar carguíos de alta precisión, para lo cual cuenta con el sistema LoadPlus™, que digitaliza el carguío de manera directa, vinculando así la información que reciben los sensores hacia BlastIQ™, automatizando dicho proceso.

Figura 10

Unidad MMU - Bulmaster™ 7



8.4 Definición de Términos

- **Explosivo**

Sustancia que tiene la capacidad de producir una reacción química de manera violenta, que generan energía y gases que nos permiten fragmentar la roca.

- **Burden**

Distancia de perpendicular a la cara libre entre las filas de los taladros.

- **Espaciamiento**

Distancia entre taladros paralelos a la cara libre.

- **Secuencia de salida**

Secuencia minada de la pala, aprovechando la cara libre, orientación de las fallas, perpendicular a la orientación de las discontinuadles.

- **VOD**

Velocidad de denotación es la velocidad en que la reacción de detonación se extiende a través de la columna explosiva.

- **Curva gasificada**

Curva en la cual se muestra el comportamiento del esponjamiento que atraviesa nuestro explosivo con la finalidad de evaluar su comportamiento.

- **Pala de carguío**

Equipo encargado de realizar el carguío del material volado hacia los diferentes equipos de acarreo.

- **Dispatch**

Sistema que permite controlar la ubicación de los equipos en tiempo real.

8.5 Hipótesis de Investigación

8.5.1 Hipótesis general

Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora la tasa de excavación en una mina en el sur del país, 2025.

8.5.2 Hipótesis específicas

- Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el P(80) de la fragmentación alcanzando el KPI mina.
- Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.
- Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™, es posible.

8.6 Variables

8.6.1 Variable Independiente

Explosivo Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™

8.6.2 Variable Dependiente

Tasa de Excavación en la Fase Inferior Zona de Mineral

8.6.3 Operacionalización de las Variables

Tabla 4

Operacionalización de las Variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Explosivo Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™	Emulsión	Densidad	gr/cc
	encartuchada	VOD	m/s
	diseñada para	Diámetro	mm
	entregar una mayor	Peso	g
	energía en la zona de taco.	RBS Diseño de carga	Kg/tal, longitud de taco, material del taco.
Variable Dependiente			
Tasa de Excavación en la Fase Inferior Zona de Mineral	Representa la	Tasa de excavación	
	cantidad de	de las palas de	t/h
	toneladas métricas	carguío	
	húmedas que una pala puede minar en una hora de tiempo.	Fragmentación del mineral P(80) Coeficiente de uniformidad	cm n



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

29.1 Alcance y Limitaciones

Viabilidad. La investigación es viable debido a que contamos con los datos necesarios para la comprobación de las hipótesis de investigación y el cumplimiento de los objetivos.

Lugar o espacio. La investigación se realizó en la Fase inferior zona de mineral con alteración yeso anhidrita de una mina en el sur del país.

Tiempo. La investigación se desarrolló en los meses de julio a noviembre de 2025.

Financiación. La investigación se realizó íntegramente con el financiamiento propio del investigador.

29.2 Aporte

La contribución de la investigación es el análisis de los resultados productos de la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco como alternativa de solución ante una situación problemática de macizo rocoso duro y la disminución de la tasa de excavación de palas de carguío.

29.3 Tipo y Nivel de Investigación

El tipo de investigación es aplicada, de nivel descriptivo cuasi experimental.

Diseño de la investigación:



M: Muestra de elementos

X_i : Variable de estudio

P: Aplicación del experimento.

O_i : Resultados de la medición de las variables

29.4 Población y Muestra

29.4.1 Población

Voladuras realizadas en una mina del sur del país entre los meses julio a noviembre 2025.

29.4.2 Muestra

Voladura de la zona de mineral con alteración yeso anhidrita Fase inferior entre los meses de julio a noviembre 2025.

29.5 Métodos o Técnicas de Recolección de Datos

La técnica de recolección de datos es la documental a razón de que hemos obtenido esta información de fuentes confiables como: el Análisis Post Voladura y Análisis de Fragmentación semanal que nosotros elaboramos como parte del servicio de voladura, así como la base de datos del Sistema por parte del cliente donde se almacena la información del Dig Rate.

29.6 Plan Análisis de Datos

La información relevante que hemos necesitado para poder hacer la evaluación de los datos ha provenido de 3 fuentes; la primera, es el análisis post voladura, en donde se detallan todas variables con respecto de cada uno de los disparos que realizamos, en dicho documento podemos encontrar el diseño de carga con el que se trabajó, la secuencia de salida, tiempos empleados, entre otros; la segunda fuente es el análisis de fragmentación semanal que realizamos, en donde hacemos el seguimiento de la fragmentación de todas las palas, pero por temas operativos (contamos con 09 Palas) cada pala es analizada de 2 a 3 veces por semana, de esta manera tendremos la información del P(80) y coeficiente de uniformidad, cabe recalcar que el método empleado para medición de fragmentación es el método tradicional manual, este se realiza con el apoyo de 2 boyas de coloración roja (que nos ayudan a poder tener profundidad) y una cámara profesional para fotografiar el frente con las 2 boyas; por último, la tercera fuente

de datos proviene del sistema Dispatch que maneja el cliente, en donde se registra la tasa de excavación de las diferentes palas.

También cabe recalcar en la fase inferior de la mina, donde se realizó el estudio, el equipo que lo está minando es solamente la Pala 04, por lo que todo el estudio se basó en analizar los resultados de dicha pala mencionada. Esto es un punto a favor en nuestra investigación dado que al ser el mismo equipo no vamos a tener variaciones en la información que podría perjudicar los resultados.

La información que proviene por parte del cliente no está organizada por disparo, ni tampoco el análisis de fragmentación semanal que realizamos nosotros, dado que van de acuerdo al avance del minado, lo que nosotros hemos hecho es ubicar estos puntos y hacer el contraste con los diferentes disparos que realizamos, para poder evaluar de manera correcta el desempeño de cada una de nuestras voladuras involucradas en el presente estudio. Como consecuencia hemos tomado en cuenta las muestras de fragmentación tomadas durante la semana y si pertenecen al mismo disparo hemos considerado el promedio, y si las muestras corresponden al minado de 2 disparos en la misma semana, estamos considerando 2 datos por semana. Con esta referencia también hemos trabajado la información de la tasa de excavación que proviene del sistema del cliente. Para el caso de la toma de datos para fragmentación y coeficiente de uniformidad, se ha llevado un registro de cuándo y dónde se realizó dicha medición, dado que contamos con la ubicación referencial de las baldadas de las palas en el sistema Dispatch, eso quiere decir que tomando en cuenta que las muestras tomadas son en el cambio de guardia, que se realiza a las 7.00 de la mañana hasta las 7.30 de la mañana podemos identificar el lugar exacto donde la pala terminó su minado y empezó el cambio de guardia, por lo que ya podríamos identificar la zona de dicho minado. Otro dato importante a tomar en cuenta es que, al ser el método tradicional manual, los datos que tomamos son referenciales, no representa de manera integral todo el proyecto minado, como si se puede lograr con otras

tecnologías de dispositivos instalados en las Palas como podría ser Fragtrack™. Con respecto de la información de Dispatch, de igual manera se ha trabajado con las baldadas, identificando en que zonas se realizaron los minados, y de este modo hemos podido vincularlas con la ubicación de los disparos realizados, para así con un intervalo de tiempos vincular los promedios de los resultados a los proyectos correspondientes y podamos dar la trazabilidad correcta a los diferentes proyectos con sus resultados en Tasa de Excavación.

En primer lugar, se recolectó información correspondiente al mes de julio, agosto y septiembre, antes de la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, con la metodología mencionada anteriormente. De este modo establecimos una línea base considerando estos datos, tales como el P(80), tasa de excavación, coeficiente de uniformidad, entre otros de importancia, cabe recalcar que las características litológicas y geomecánicas son parecidas, lo que favorece el análisis en la presente investigación ya que no difieren la información; de igual manera en cuanto a la presencia de agua, por lo general la gran mayoría de proyectos disparados han presentado alrededor de un 80% de agua.

En segundo lugar, hemos recolectado la información correspondiente al mes de septiembre, octubre y noviembre, en donde ya se había implementado la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ para así realizar el comparativo correspondiente.

Debido a las condiciones operativas y disponibilidad de datos el análisis se ha centrado en una evaluación descriptiva de los indicadores operacionales, complementado con una interpretación técnica del comportamiento de la voladura.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

30.1 Análisis e Interpretación de Resultados

30.1.1 Parámetros generales

En este apartado se muestran los parámetros que se usaron durante el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 5

Indicadores de Fragmentación Cliente

KPI fragmentación	
Dig Rate (t/h)	6 000,00
P-80 (cm)	19,0- 22,5
Coeficiente de uniformidad	0,95

Nota. Tomado de Jefatura de Ingeniería Mina, 2025.

Tabla 6

Características de los explosivos utilizados

Variable	Fortis™ Extra	Senatel™ Pulsar™
Densidad (g/cm ³)	1,10 – 1,30	1,23
Tipo de taladro	Seco y con agua	Seco y con agua
VOD (m/s)	4 000 a 6 200	4 500
RBS (%)	177	180
Tiempo de reposo (sleep time) (d)	21	-

Nota. Tomado de página web Orica, 2025.

30.1.2 Establecimiento Línea Base Explosivo Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™

Para el establecimiento de la Línea base hemos tomado como referencia para el análisis 12 disparos, los cuales poseen todos un diámetro de perforación de 11 pulgadas dado que al ser la zona mineralizada del tajo por disposición del área de ingeniería únicamente se perfora con ese diámetro, así mismo cabe mencionar que la altura de banco en toda la mina es de 15,0 metros, para el caso de la zona de estudio al ser la zona mineralizada se cuenta con una configuración únicamente de taladros de producción sin amortiguación dado que lo que se prioriza es la fragmentación, por consiguiente la sobre perforación es de 1,5 metros para todos los taladros, en el caso de que los proyectos se encuentren pegados hacia algún talud, estos si cuentan con taladros trim en donde su configuración es de 350 Kg carga de fondo, capa intermedia de 3 metros de detritos y carga superior de 250 Kg.

En el caso del agente explosivo que se emplea en la mina, nosotros únicamente utilizamos una mezcla explosiva Heavy ANFO 73, 70 % de emulsión Fortis™ Extra y 30% de ANFO, esto dada la complejidad operativa de la mina, además de utilizar Emulsión encartuchada Senatel™ Power Split para perfilar los taludes y cuidarlos. Al margen de estos elementos no se utilizan ningún producto explosivo adicional, como podrían ser explosivos aluminizados para mejorar la fragmentación, productos con densidad uniforme o productos explosivos que contengan agentes que cuiden los taludes.

Cabe mencionar que al tratarse de la zona inferior del tajo si se cuenta con presencia de abundante agua, dependiendo del sector donde nos encontremos se encuentra por lo general una tendencia promedio de 80% de taladros con agua; como se mencionó anteriormente esto no es un problema dado que al trabajar con un producto 73, estamos preparados para poder cargar en zonas con presencia de agua sin ningún problema, utilizando para esto el sistema bombeable de los camiones mezcladores.

Con respecto del diseño de carga, en todos los proyectos se ha utilizado un taco 5,5 m, carga en los taladros primarios de 831 Kg y el burden y espaciamiento son 5,63 x 6,50.

Con respecto del material de taco, este depende del material que nos proporciona el cliente, en ensayos previos se evidencio una mejora en la fragmentación de un 0,12 % al utilizar este material de gravilla, dado que el material confina mejor por la angulosidad de los fragmentos y retiene mejor la energía, pero a veces por la operatividad de la mina no se tenía un uso al 100% de dicho material en la zona de estudio.

En cuanto a las características de los disparos a continuación, se detallan algunos datos relevantes analizados para el presente estudio en la siguiente tabla:

Tabla 7

Disparos involucrados en el establecimiento de la Línea Base con sus características

N°	Fecha de disparo	Factor	Taladros de producción	Taladros de trim	Material de taco	Litología	% Agua
		Potencia (Kg/Tn)					
Disparo 01	02/07/25	0,60	146	50	Detritus	Bx-ga	73,00
Disparo 02	07/07/25	0,57	209	57	Detritus	Bx-ga	82,00
Disparo 03	14/07/25	0,57	218	5	Detritus	Bx-ga/BxT-ga	63,00
Disparo 04	19/07/25	0,54	340	0	Gravilla	Dp-ga	80,00
Disparo 05	24/07/25	0,56	86	0	Detritus	Dp-ga	72,00
Disparo 06	01/08/25	0,57	297	42	Detritus	Bx-ga	85,00
Disparo 07	08/08/25	0,54	218	0	Gravilla	Dp-ga	78,00
Disparo 08	13/08/25	0,55	465	0	Gravilla	Bx-ga	69,00
Disparo 09	20/08/25	0,57	63	20	Detritus	Dp-ga	73,00
Disparo 10	25/08/25	0,55	179	12	Detritus	Bx-ga/BxT-ga	75,00
Disparo 11	01/09/25	0,55	439	0	Detritus	Bx-ga/DpBx-ga	79,00
Disparo 12	05/09/25	0,60	102	28	Gravilla	Dp-Ga	83,00

A continuación, se muestran algunos ejemplos de los 12 disparos realizados en el periodo previo a la implementación de la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™:

A. Perforación y Voladura

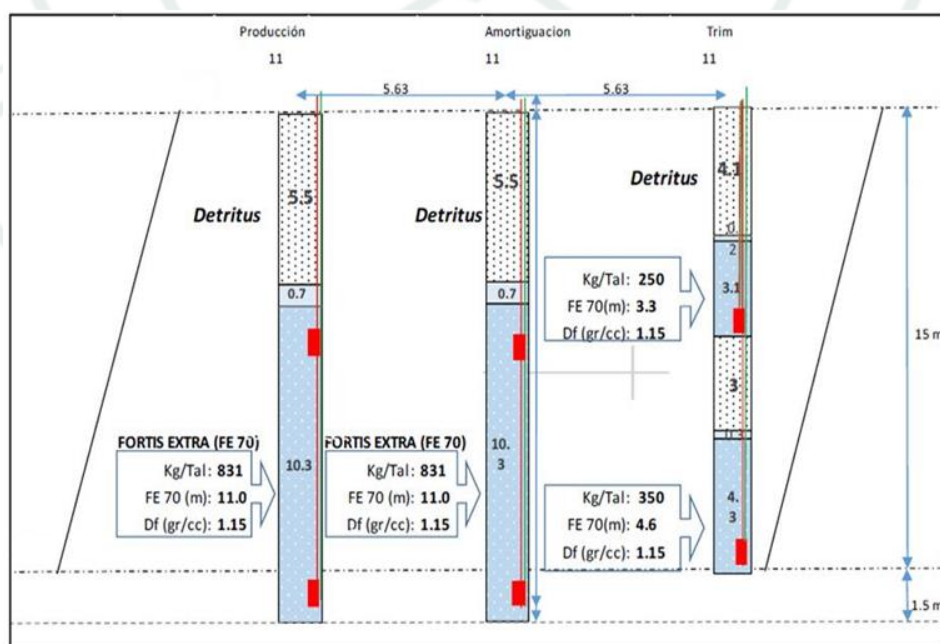
Julio 2025

Disparo 01 – Semana 01

En la voladura realizada durante la primera semana de julio del 2025, en nuestra zona de estudio (zona inferior del tajo), se utilizó un diseño de carga de 5.5 como taco, tanto para producción y amortiguación; con respecto de los taladros de “trim” utilizamos cargas diferenciadas, la inferior de 350 Kg y la superior de 250 Kg, estas divididas por una capa intermedia de detritus de 3 metros (material detritus de la perforación). En cuanto al taco se utilizó gravilla de 2 pulgadas. En cuanto a los taladros iniciales se les bajó la carga 1 m, quedándonos un taco final de 6,5 m, para evitar eyecciones. El proyecto contaba con 196 Taladros. El factor de potencia teórico fue 0,60 Kg/TN.

Figura 11

Diseño de carga proyecto de voladura 01 - Julio 2025

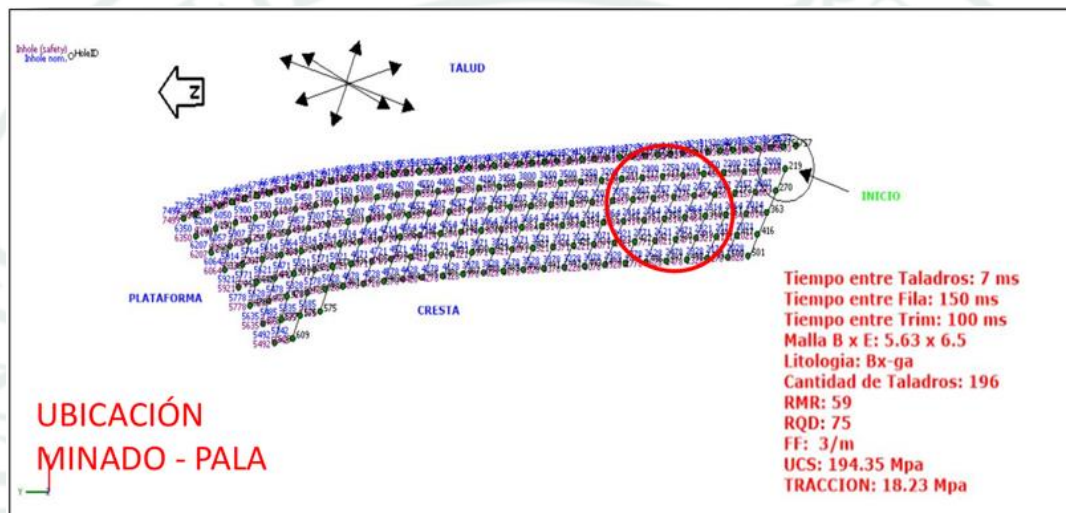


Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Con respecto de la secuencia, se utilizaron diagonales cortas, desplazando nuestro material a la zona del material volado previamente, esto para que sea posible su minado y evitar que el material se caiga hacia niveles inferiores donde no se tiene acceso, así mismo al ser un proyecto sin muchas filas el daño al talud es bajo.

Figura 12

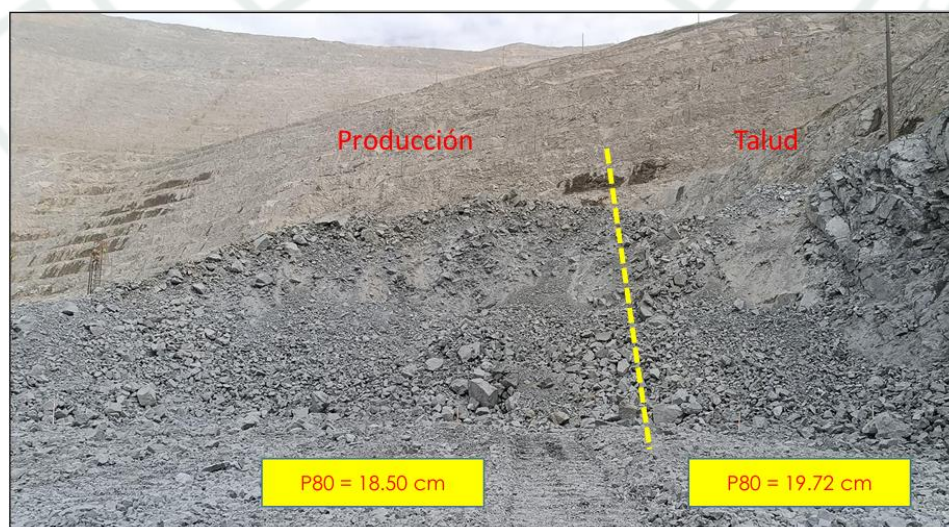
Secuencia de salida proyecto de voladura 01 - julio 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Figura 13

Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 01 - julio 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Como podemos apreciar se cuidó la zona del talud, esto debido a la configuración de su diseño de carga, y la secuencia de salida del material, pero por consiguiente la fragmentación también se ve afectada.

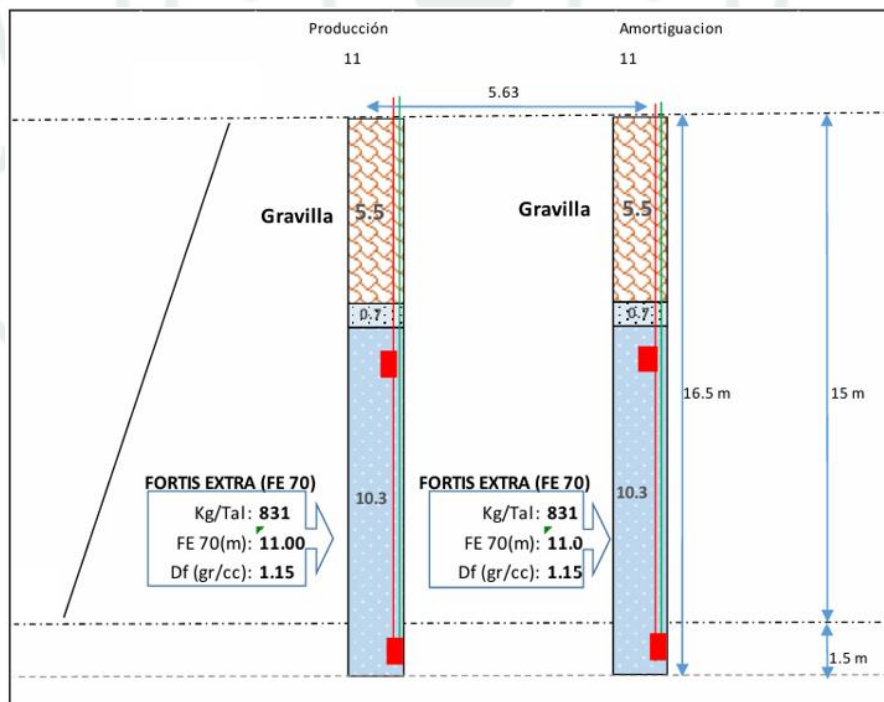
Agosto 2025

Disparo 08 – Semana 06

En la voladura realizada durante la segunda semana de agosto del 2025, en nuestra zona de estudio (Fase inferior del tajo), se utilizó un diseño de carga de 5,5 como taco, tanto para producción y amortiguación; con respecto de los taladros de trim no se utilizaron debido a que no se encontraba en una zona con talud. En cuanto al taco se utilizó gravilla de 2 pulg. En cuanto a los taladros iniciales se les bajó la carga 1 m, quedándonos un taco final de 6,5 m, para evitar eyecciones. El proyecto contaba con 465 Taladros. El factor de potencia teórico fue 0,55 Kg/TN.

Figura 14

Diseño de carga proyecto de voladura 08 - agosto 2025

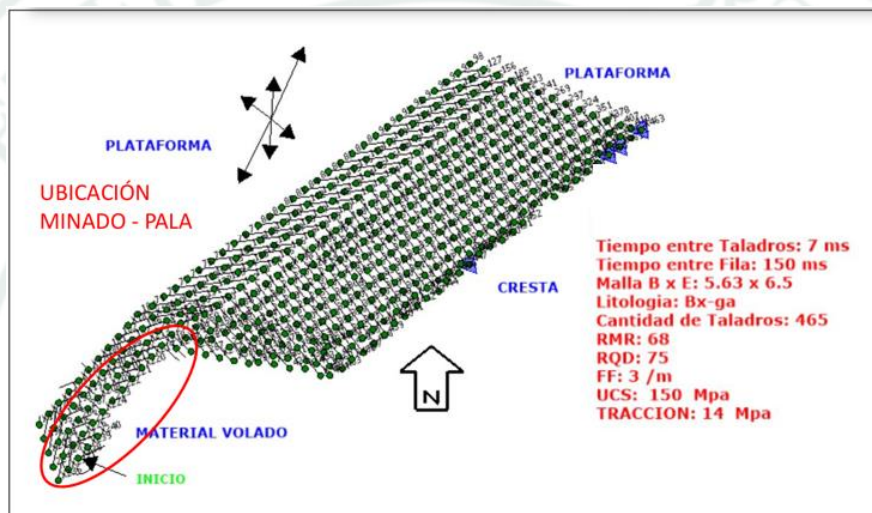


Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Con respecto de la secuencia, se utilizaron diagonales largas, partiendo desde la 4ra fila para armar nuestra troncal, esto para cuidar nuestros taludes y a su vez fragmentar dentro de los límites establecidos por parte del cliente, esta decisión se tomó dada la cantidad de material a mover, puesto que se dispararon 465 taladros en dicha zona.

Figura 15

Secuencia de salida proyecto de voladura 08 - agosto 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Figura 16

Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 08 - agosto 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Como podemos apreciar hacia la izquierda de la imagen la granulometría es menos uniforme, esto porque este minado se encuentra en la zona donde hubo menor interacción de energía debió a su volumen (4 filas).

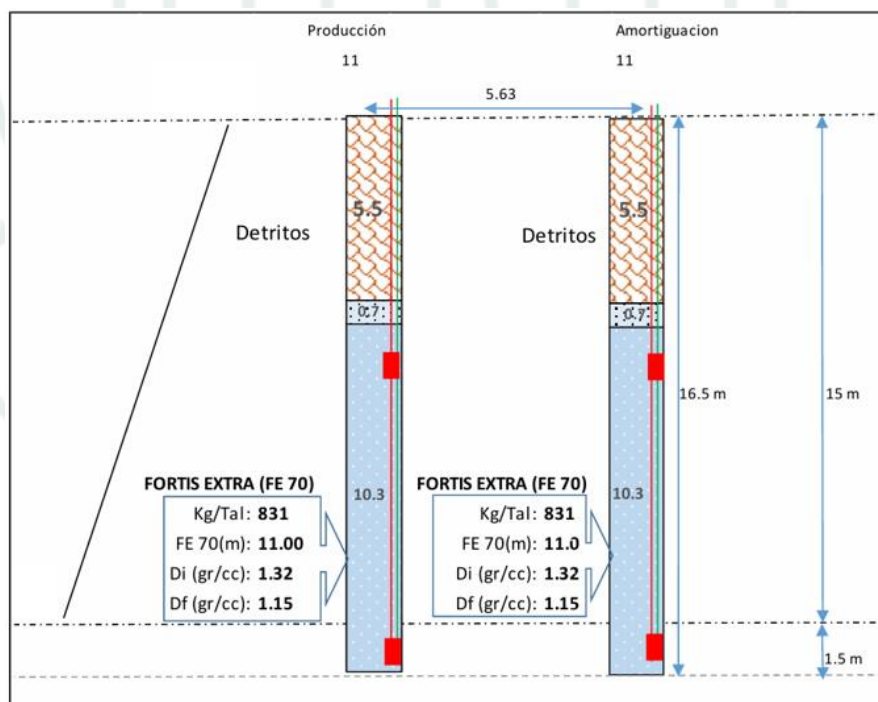
Septiembre 2025

Disparo 11 – Semana 09

En la voladura realizada durante la primera semana de septiembre del 2025, en nuestra zona de estudio (Fase inferior del tajo), se utilizó un diseño de carga de 5,5 como taco, tanto para producción y amortiguación. En cuanto al taco se utilizó gravilla de 2 pulg. En cuanto a los taladros iniciales se les bajó la carga 1 m, quedándonos un taco final de 6.5 m, para evitar eyecciones. La cantidad de taladros disparados fueron 439. Su factor de potencia fue 0,55 Kg/TN.

Figura 17

Diseño de carga de proyecto de voladura 11 - septiembre 2025

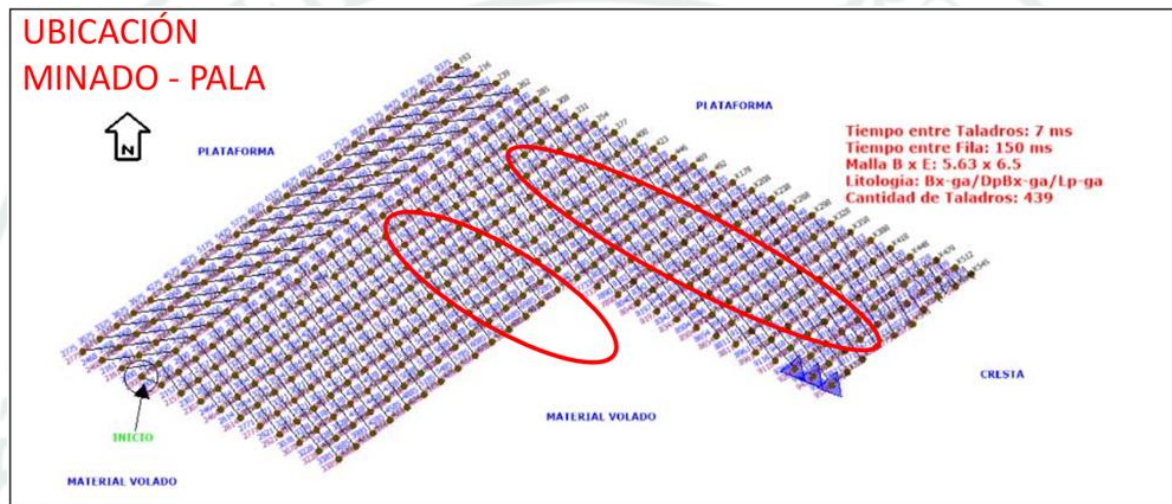


Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Con respecto de la secuencia de salida, se utilizaron diagonales largas, partiendo desde la 4ta fila para armar nuestra troncal, esto para cuidar nuestros taludes y a su vez fragmentar dentro de los límites establecidos por parte del cliente, dado que contamos con un proyecto de un volumen considerable y el tren de ondas podría dañar las plataformas.

Figura 18

Secuencia de salida proyecto de voladura 11 - septiembre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Figura 19

Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 11 - septiembre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Como podemos apreciar en la imagen con respecto de la granulometría, en la zona de la derecha la fragmentación es mayor dado que es la zona del material de relleno (Spill). Es por eso que el análisis de la fragmentación es zonificado.

B. Resumen de indicadores

A continuación, se muestran los indicadores obtenidos, cabe recalcar que la información en la siguiente tabla esta ordenada por semana, dado que el análisis presentado al cliente es semanal, pero también esta con la referencia del disparo al que pertenecen.

Tabla 8

Tasa de Excavación de Disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™

Dig Rate				
Producto	Mes	Semana	Disparo	t/h
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	01	6243,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	02	6055,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	02	6158,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	03	6278,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	03	6123,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	04	6158,00
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 04	05	6189,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	06	6245,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	07	6153,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	07	6108,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	08	5985,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 07	09	6088,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	10	6215,00
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	11	6180,00
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	11	6025,00
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	12	6126,00

Figura 20

Gráfico del comportamiento de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

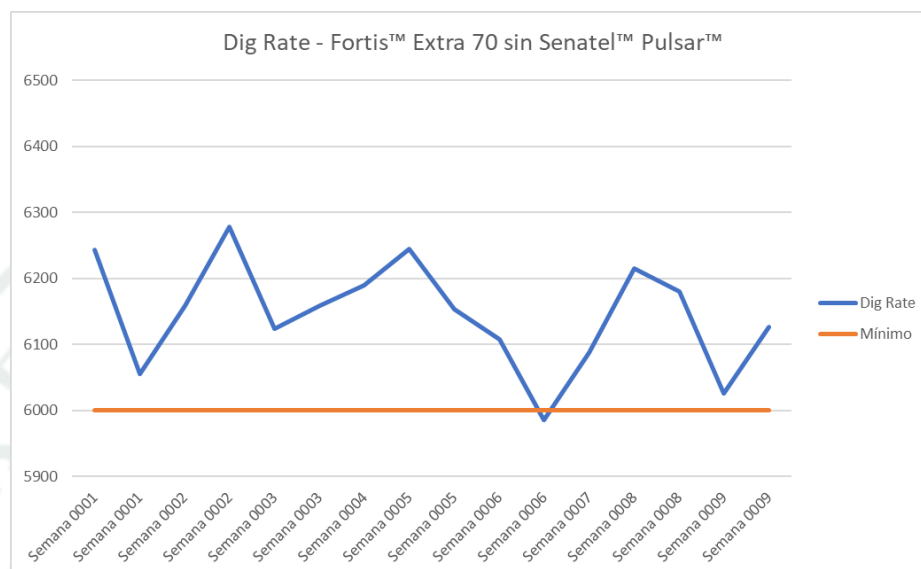


Tabla 9

Estadística de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

Estadístico	Valor
Valores	16
Media	6 144,55
Mediana	6 155,50
Desviación estándar	81,37
Varianza	6 620,93
Coeficiente de variación	1,32%

Tabla 10

P(80) de los Disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™

P(80)				
Producto	Mes	Semana	Disparo	cm
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	01	21,5
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	02	22,3
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	02	22,8
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	03	20,9
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	03	22,6
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	04	21,9
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 04	05	22,9
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	06	22,6
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	07	22,1
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	07	22,0
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	08	22,6
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 07	09	22,3
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	10	22,6
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	11	22,0
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	11	22,4
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	12	22,1

Figura 21

Gráfico del comportamiento del P(80) Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

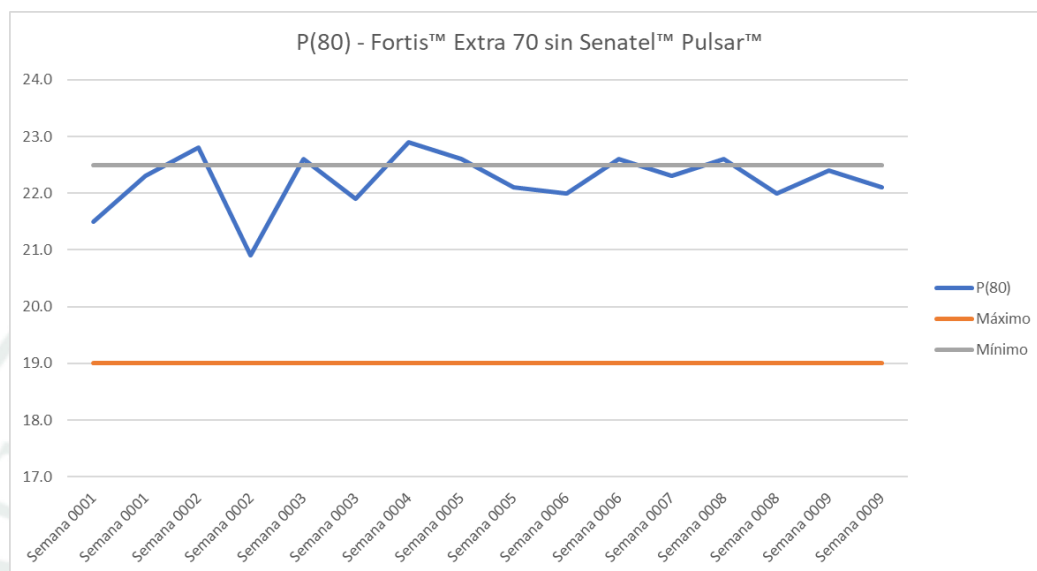


Tabla 11

Estadística del P(80) Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

Estadístico	Valores
Valores	16
Media	22,2
Mediana	22,3
Desviación estándar	0,51
Varianza	0,26
Coefficiente de variación	2,30%

Tabla 12

Coefficiente de Uniformidad de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 sin Senatel™

Pulsar™

Coeficiente de Uniformidad				
Producto	Mes	Semana	Disparo	“n”
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	01	0,92
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 01	02	0,83
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	02	0,85
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 02	03	0,87
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	03	0,89
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 03	04	0,87
Fortis™ Extra 70	Julio	Semana 04	05	0,91
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	06	0,83
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 05	07	0,79
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	07	0,86
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 06	08	0,87
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 07	09	0,92
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	10	0,95
Fortis™ Extra 70	Agosto	Semana 08	11	0,83
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	11	0,84
Fortis™ Extra 70	Septiembre	Semana 09	12	0,87

Figura 22

Gráfico del comportamiento del Coeficiente de Uniformidad Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

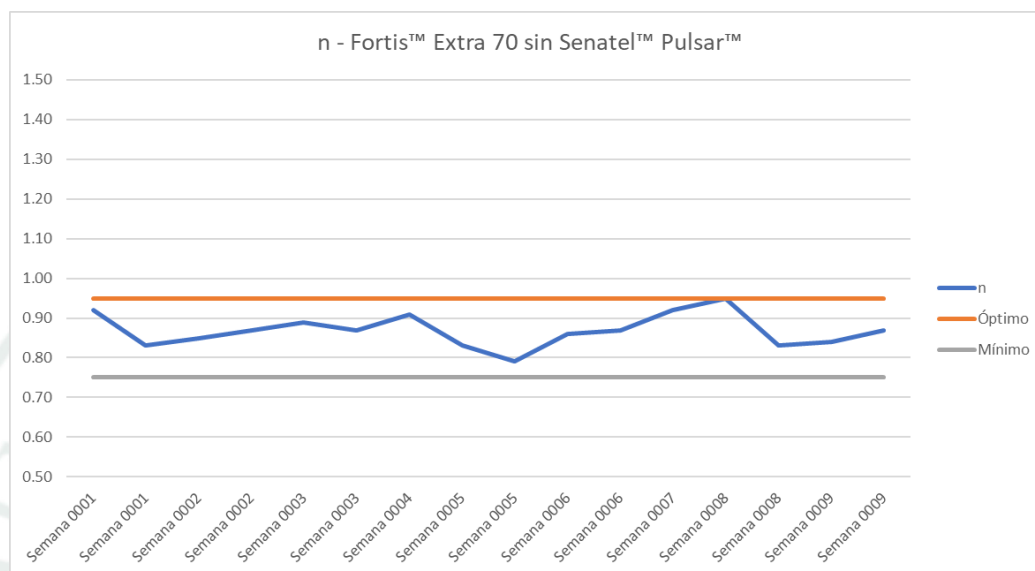


Tabla 13

Estadística del Coeficiente de Uniformidad Fortis™ Extra 70 sin Senatel™ Pulsar™ julio 2025 – septiembre 2025

Estadístico	Valores
Valores	16
Media	0,87
Mediana	0,87
Desviación estándar	0,04
Varianza	0,002
Coeficiente de variación	4,80%

30.1.3 Implementación del Explosivo Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™

En cuanto a la información de los disparos que contienen la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ se ha tomado para el análisis 13 disparos, los cuales poseen todos un diámetro de perforación de 11 pulgadas como se había mencionado anteriormente por ser la zona mineralizada del tajo, así mismo la altura de banco es de 15,0 metros, para el caso de la zona de estudio no hubo ninguna modificación en cuanto a la configuración de solo contar con taladros de producción de la misma manera que con los disparos de la línea base, por consiguiente la sobre perforación es de 1,5 metros para todos los taladros, en el caso de que los proyectos se encuentren pegados hacia algún talud, de igual manera estos si cuentan con taladros trim en donde su configuración es de 350 Kg carga de fondo, capa intermedia de 3 metros de detritos y carga superior de 250 Kg.

En el caso del agente explosivo que se emplea en la mina, se siguió con la configuración de la mezcla explosiva Heavy ANFO 73, 70 % de emulsión Fortis™ Extra y 30% de ANFO, además de seguir utilizando Emulsión encartuchada Senatel™ Power Split para perfilar los taludes y cuidarlos. Al margen de estos elementos no se utilizaron ningún producto explosivo adicional, como podrían ser explosivos aluminizados para mejorar la fragmentación, productos con densidad uniforme o productos explosivos que contengan agentes que cuiden los taludes.

Cabe mencionar que al tratarse de la zona inferior del tajo se ha seguido contando con la presencia de abundante agua, igual que en los proyectos de línea base analizados, por lo general encontrado la misma tendencia promedio de 80% de taladros con agua; como se mencionó anteriormente esto no es un problema dado que al trabajar con un producto 73, se trabajó sin ningún problema, utilizando para esto el sistema bombeable de los camiones mezcladores.

Con respecto del diseño de carga, en todos los proyectos se ha utilizado un taco 5,5 m, carga en los taladros primarios de 831 Kg y el burden y espaciamiento son 5,63 x 6,50.

Con respecto del material de taco, para el caso de las pruebas el cliente si nos proporcionó al 100 % el material de Gravilla, dado que, al tener un explosivo en la zona de taco, se podrían generar eyecciones, y para evitar este fenómeno se hizo dicha recomendación.

En cuanto a las características de los disparos a continuación, se detallan algunos datos relevantes analizados para el presente estudio en la siguiente tabla:

Tabla 14

Disparos realizados con la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™ involucradas en el análisis con sus características

N°	Fecha de disparo	Factor de Potencia (Kg/Tn)	Taladros de producción	Taladros de trim	Material de taco	Litología	% Agua
Disparo 13	09/09/25	0,52	157	0	Gravilla	Dp-ga	85,00
Disparo 14	15/09/25	0,60	81	28	Gravilla	Dp-ga	72,00
Disparo 15	19/09/25	0,56	206	17	Gravilla	Bx-ga	76,00
Disparo 16	26/09/25	0,58	250	34	Gravilla	Bx-ga/Dp-Ga	81,00
Disparo 17	02/10/25	0,54	195	0	Gravilla	Dp-ga	66,00
Disparo 18	06/10/25	0,59	185	21	Gravilla	Bx-ga	62,00
Disparo 19	14/10/25	0,56	419	42	Gravilla	Dp-ga	84,00
Disparo 20	22/10/25	0,55	465	0	Gravilla	Bx-ga	85,00
Disparo 21	27/10/25	0,53	135	4	Gravilla	Dp-ga	78,00
Disparo 22	03/11/25	0,57	568	98	Gravilla	DpBx-ga/Bx-ga	76,00
Disparo 23	10/11/25	0,59	201	0	Gravilla	BxT-ga/Bx-ga	72,00
Disparo 24	18/11/25	0,56	287	21	Gravilla	Dp-Ga	70,00
Disparo 25	24/11/25	0,52	149	20	Gravilla	Bx-ga	65,00

A continuación, se muestran algunos ejemplos de los 13 disparos realizados en el periodo que contempla la implementación de la Emulsión Encartuchada Senatel™ Pulsar™:

A. Perforación y Voladura

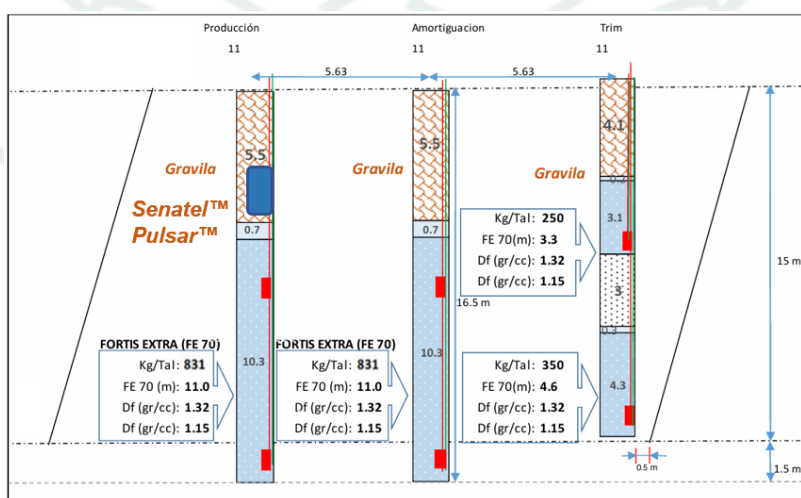
Octubre 2025

Disparo 16 – Semana 13

En la voladura realizada durante la primera semana de octubre del 2025, en nuestra zona de estudio (Fase inferior del tajo), se utilizó un diseño de carga de 5,5 como taco, tanto para producción y amortiguación; con respecto de los taladros de “trim” utilizamos cargas diferenciadas, la inferior de 350 Kg y la superior de 250 Kg, estas divididas por una capa intermedia de detritus de 3 metros (material detritus de la perforación). En cuanto al taco se utilizó material de detritus por la disponibilidad del material de gravilla de 2 pulg. En este caso se utilizó el Senatel™ Pulsar™ en la zona del taco, solo en los taladros de producción. En cuanto a los taladros iniciales se les bajó la carga 1 m, quedándonos un taco final de 6,5 m, para evitar eyecciones. El proyecto contaba con 284 Taladros. El factor de potencia teórico fue 0,58 Kg/TN.

Figura 23

Diseño de carga de proyecto de voladura 16 - octubre 2025

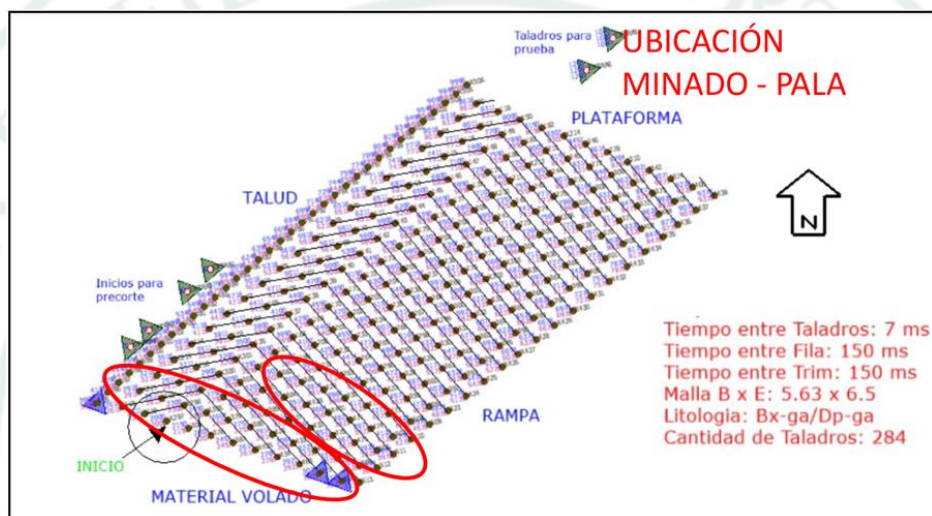


Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Con respecto de la secuencia, se utilizaron diagonales largas, partiendo desde la 4ta fila para armar nuestra troncal, esto para cuidar nuestros taludes y a su vez fragmentar dentro de los límites establecidos por parte del cliente. También se direccionó el material hacia la zona de material volado según la secuencia.

Figura 24

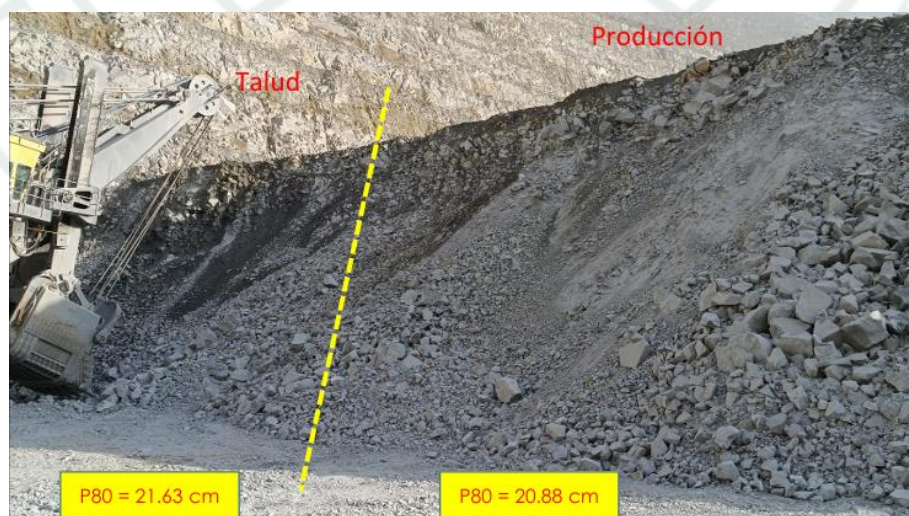
Secuencia de salida proyecto de voladura 16 - octubre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Figura 25

Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 16 - octubre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica (2025)

Como podemos apreciar en la imagen con respecto de la granulometría, en la zona de la derecha la fragmentación es menor debido que es una zona de taladros de producción donde por la secuencia de salida interactuó mayor parte de la energía.

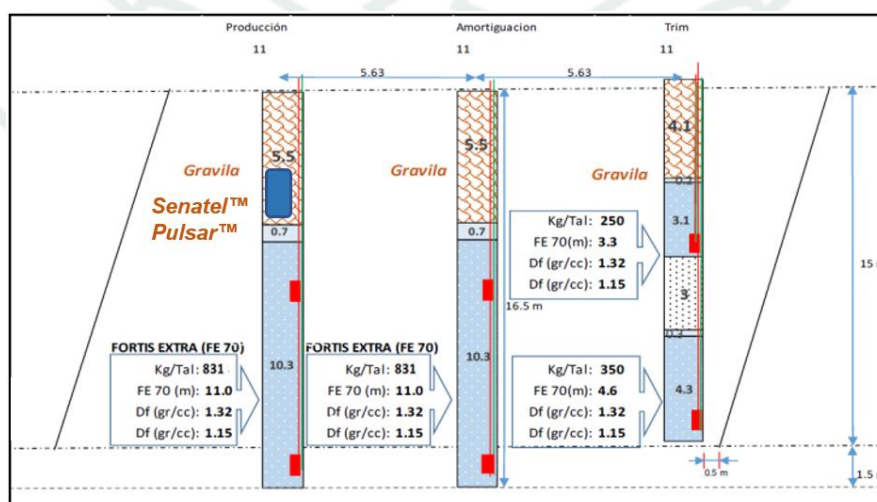
Noviembre 2025

Disparo 22 – Semana 18

En la voladura realizada durante la primera semana de octubre del 2025, en nuestra zona de estudio (Fase inferior del tajo), se utilizó un diseño de carga de 5,5 como taco, tanto para producción y amortiguación; con respecto de los taladros de “trim” utilizamos cargas diferenciadas, la inferior de 350 Kg y la superior de 250 Kg, estas divididas por una capa intermedia de detritus de 3 metros (material detritus de la perforación). En cuanto al taco se utilizó material de detritus por la disponibilidad del material de gravilla de 2 pulg. En este caso se utilizó el Senatel™ Pulsar™ en la zona del taco, solo en los taladros de producción. En cuanto a los taladros iniciales se les bajó la carga 1 m, quedándonos un taco final de 6,5 m, para evitar eyecciones. El proyecto contaba con 666 Taladros. El factor de potencia teórico fue 0,57 Kg/TN.

Figura 26

Diseño de carga de proyecto de voladura 22 - noviembre 2025

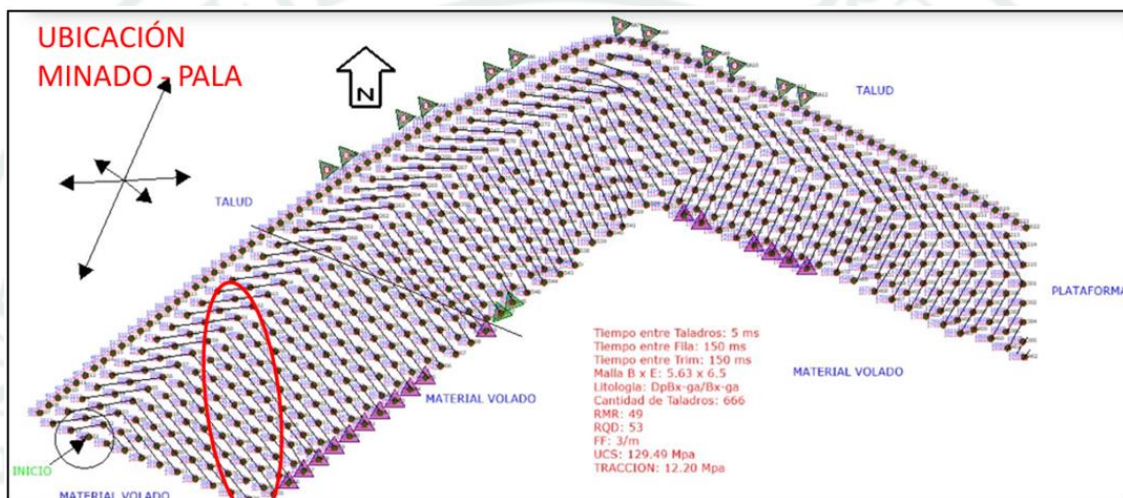


Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Con respecto de la secuencia, se utilizaron diagonales largas, partiendo desde la 4ta fila para armar nuestra troncal, esto para cuidar nuestros taludes y a su vez fragmentar dentro de los límites establecidos por parte del cliente. También se direccionó el material hacia la zona de material volado según la secuencia.

Figura 27

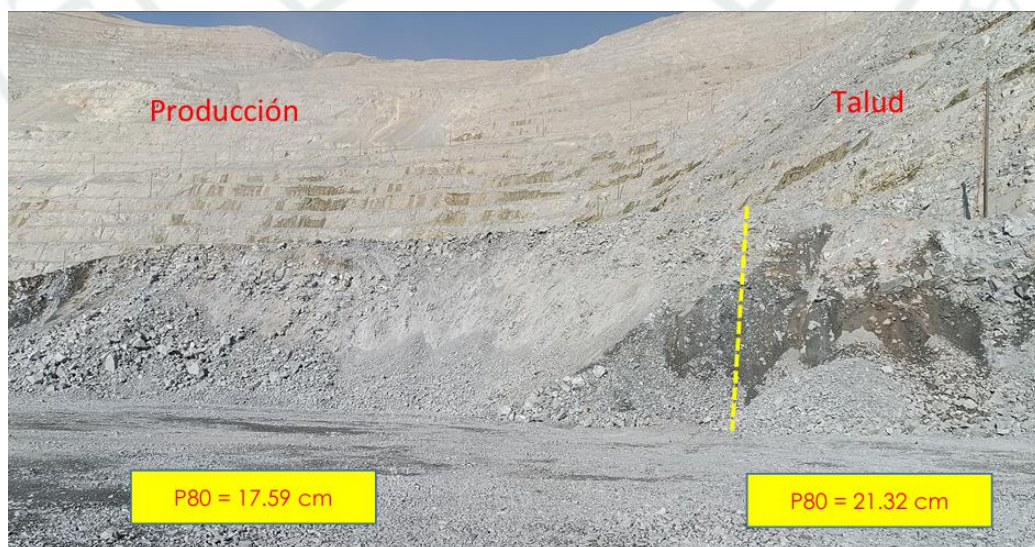
Secuencia de salida proyecto de voladura 22 - noviembre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Figura 28

Granulometría del frente de minado proyecto de voladura 22 - noviembre 2025



Nota. Tomado de Reunión para Mejora Continua, Orica, 2025.

Como podemos apreciar en la imagen con respecto de la granulometría, en la zona que comprende a los taladros de producción la fragmentación es menor por la cantidad de taladros.

B. Resumen de indicadores

A continuación, se muestran los indicadores obtenidos, cabe recalcar que la información en la siguiente tabla esta ordenada por semana, dado que el análisis presentado al cliente es semanal, pero también esta con la referencia del disparo al que pertenecen.

Tabla 15

Tasa de Excavación de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™

Dig Rate				
Producto	Mes	Semana	Disparo	t/h
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 10	13	6 402,00
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 11	14	6 210,00
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	15	6 328,00
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	16	6 438,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	16	6 278,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	17	6 314,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 14	18	6 362,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 15	19	6 415,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	20	6 313,00
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	21	6 284,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	21	6 140,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	22	6 267,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	22	6 378,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	23	6 346,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 19	24	6 203,00
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 20	25	6 288,00

Figura 29

Gráfico del comportamiento de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025

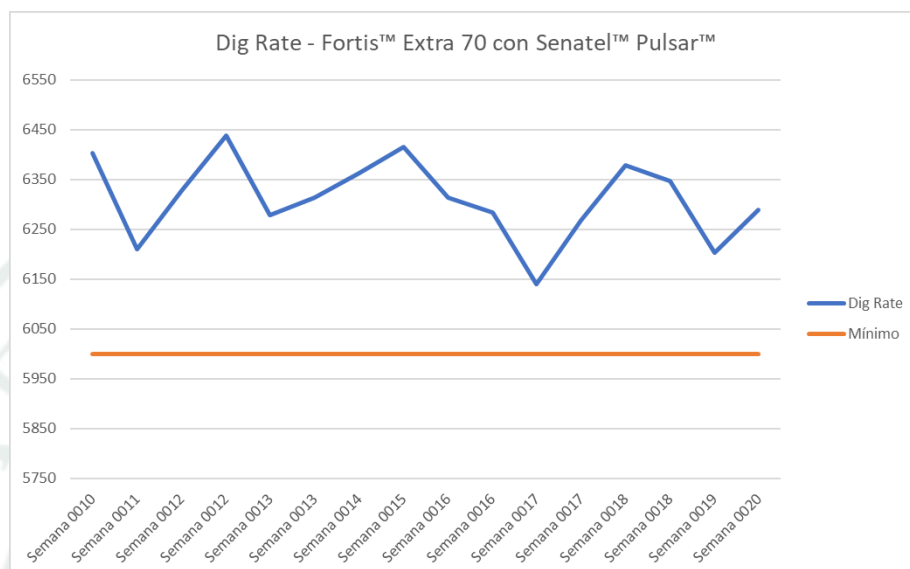


Tabla 16

Estadística de la Tasa de Excavación Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025

Estadístico	Valor
Valores	16
Media	6 309,39
Mediana	6 313,50
Desviación estándar	81,33
Varianza	6 615,05
Coeficiente de variación	1,29%

Tabla 17

P(80) de los diferentes disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™

P(80)				
Producto	Mes	Semana	Disparo	cm
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 10	13	21,3
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 11	14	21,0
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	15	20,9
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	16	21,5
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	16	21,3
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	17	21,5
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 14	18	22,0
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 15	19	21,4
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	20	21,8
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	21	21,6
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	21	21,2
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	22	21,3
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	22	20,7
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	23	22,2
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 19	24	21,3
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 20	25	21,5

Figura 30

Gráfico de comportamiento del P(80) Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025

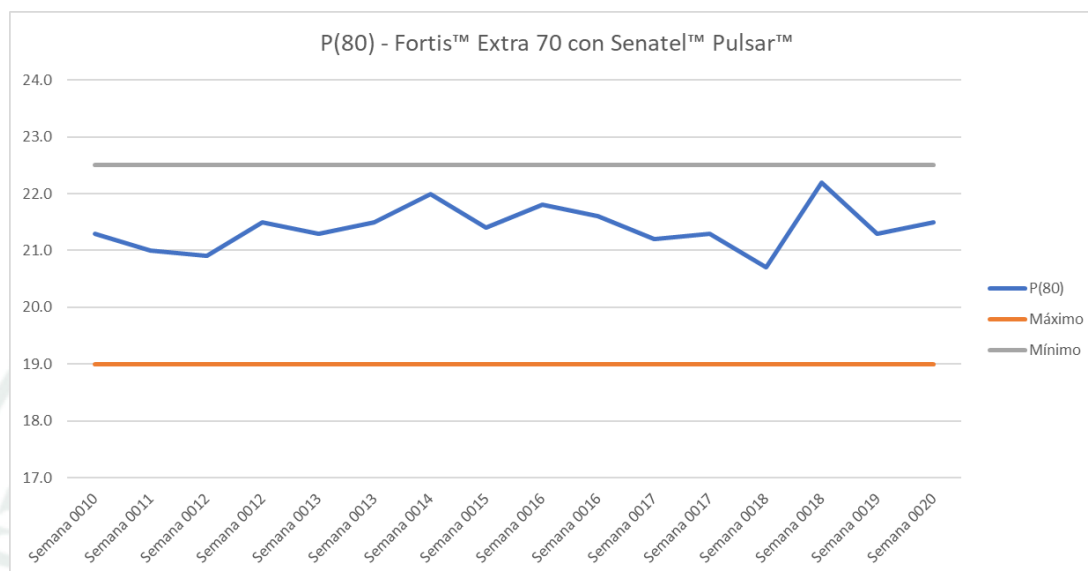


Tabla 18

Estadística del P(80) Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™ septiembre 2025 – noviembre 2025

Estadístico	Valor
Valores	16
Media	21,4
Mediana	21,4
Desviación estándar	0,38
Varianza	0,15
Coeficiente de variación	1,79%

Tabla 19

Coeficiente de Uniformidad de los disparos realizados con Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™

Coeficiente de Uniformidad				
Producto	Mes	Semana	Disparo	“n”
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 10	13	0,93
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 11	14	0,89
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	15	0,97
Senatel™ Pulsar™	Septiembre	Semana 12	16	0,98
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	16	0,96
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 13	17	0,99
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 14	18	0,95
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 15	19	0,92
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	20	0,97
Senatel™ Pulsar™	Octubre	Semana 16	21	0,87
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	21	0,88
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 17	22	0,96
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	22	0,99
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 18	23	1,02
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 19	24	0,97
Senatel™ Pulsar™	Noviembre	Semana 20	25	0,95

Figura 31

*Gráfico de comportamiento del coeficiente de uniformidad Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™
septiembre 2025 – noviembre 2025*

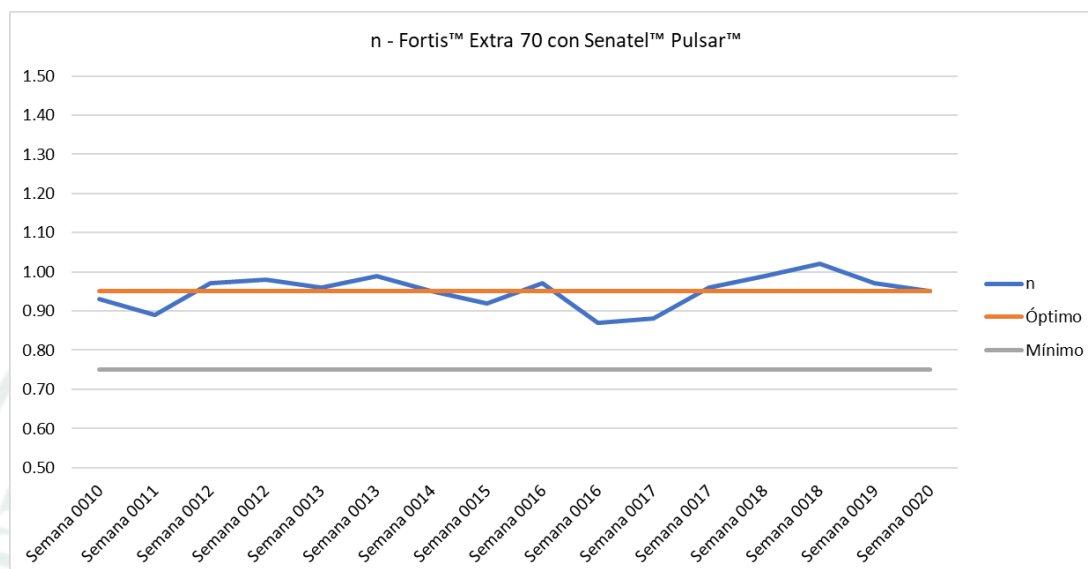


Tabla 20

*Estadística del Coeficiente de Uniformidad Fortis™ Extra 70 con Senatel™ Pulsar™
septiembre 2025 – noviembre 2025.*

Estadístico	Valor
Valores	16
Media	0,95
Mediana	0,96
Desviación estándar	0,04
Varianza	0,002
Coeficiente de variación	4,44%

30.2 Prueba de Hipótesis

30.2.1 Prueba de hipótesis general

Hipótesis general de trabajo

H0: Aplicar una emulsión encartuchada en zona de taco **NO** mejora la tasa de excavación en una mina en el sur del país, 2025.

H1: Aplicar una emulsión encartuchada en zona de taco mejora la tasa de excavación en una mina del sur del país, 2025.

Discusión

De acuerdo con la Tabla 21, se evidencia que luego de aplicar la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, la tasa de excavación se incrementó en 164,84 tm/h, representando esta una mejora del 2,68%.

Tabla 21

Comparativo de indicador Tasa de Excavación

Tasa de excavación	Valor	
Pre	6 144,55	tm/h
Post	6 309,39	tm/h
Diferencia	164,84	tm/h
Diferencia	2,68	%

Decisión

Por tanto, en consideración el argumento anterior se rechaza la hipótesis nula H0, por cuanto la tasa de excavación mejoró notablemente con el uso de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™.

30.2.2 Prueba de hipótesis específicas

A. Hipótesis específica 1

H0: Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco **NO** mejora el P(80) de la fragmentación alcanzando el KPI mina.

H1: Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el P(80) de la fragmentación alcanzando el KPI mina.

Discusión

De acuerdo con la Tabla 22, se evidencia que luego de aplicar la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ en la zona de taco, el P(80) disminuyó en 0,8 cm, representando esta una mejora del 3,66%.

Tabla 22

Comparativo de indicador P(80)

Tasa de excavación	Valor	
Pre	22,2	cm
Post	21,4	cm
Diferencia	0,8	cm
Diferencia	3,66	%

Decisión

Por tanto, en consideración el argumento anterior se rechaza la hipótesis nula H0, por cuanto el P(80) mejoró notablemente con el uso de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™.

B. Hipótesis específica 2

H0: Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco **NO** mejora el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.

H1: Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.

Discusión

De acuerdo con la Tabla 23, se evidencia que luego de aplicar la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ en la zona de taco, el coeficiente de uniformidad aumentó en 0,08, representando esta una mejora del 9,38%.

Tabla 23

Comparativo de indicador “n”

Tasa de excavación	Valor	
Pre	0,87	n
Post	0,95	n
Diferencia	0,08	n
Diferencia	9,38	%

Decisión

Por tanto, en consideración el argumento anterior se rechaza la hipótesis nula H0, por cuanto el coeficiente de uniformidad mejoró notablemente con el uso de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™.

C. Hipótesis específica 3

H0: Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™, **NO** es posible.

H1: Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™, es posible.

Discusión

De acuerdo a la aplicación del producto, si es posible conservar el diseño de carga, dado que las condiciones que requiere para evitar eyecciones es que se confine con material chancado, y en el caso de la fase inferior de la mina, se ha estandarizado el uso de dicho material de taco.

Decisión

Por tanto, en consideración el argumento anterior se rechaza la hipótesis nula H0, por cuanto si fueron posibles los diseños de carga sin variar su configuración al utilizar el Senatel™ Pulsar™.

CONCLUSIONES

- Concluimos que la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, debido a que interactúa en la zona de taco, contribuye a la mejora de la fragmentación y por ende a la tasa de excavación hasta en un 2,68%.
- Concluimos que la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, debido a que interactúa en la zona de taco, contribuye a la mejora de la fragmentación y por ende al P(80) hasta en un 3,66%.
- Concluimos que la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, debido a que interactúa en la zona de taco, contribuye a la mejora de la fragmentación y por ende al coeficiente de uniformidad hasta en un 9,38%.
- Concluimos que la implementación de la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™, debido a que no requiere de variaciones en el diseño de carga, salvo la utilización de un material de confinamiento adecuado, si es posible su diseño.

RECOMENDACIONES

- Implementar la emulsión encartuchada en el 100% de los proyectos en la zona inferior del tajo (zona mineralizada), donde se encuentra presente esta alteración yeso anhidrita.
- No utilizar la emulsión encartuchada Senatel™ Pulsar™ en las filas hacia las plataformas, porque al tener mayor potencia produce daños mayores, de igual manera en la fila de los taladros de trim y amortiguación para evitar daños en las paredes de los taludes.
- Indicar la ubicación de la emulsión encartuchada en el documento Plan de tránsito, para poder distribuirlo de manera más eficaz.
- Se recomienda realizar un estudio “mine to mil”, para ver el impacto en los costos de producción con la implementación de este explosivo.
- Contar con piedra chancada de 2 pulgadas como material de taco para retener de manera adecuada la energía y así poder evitar esta se escape, dado que no confinaría de manera óptima la energía del explosivo al momento de realizar el disparo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Machucha Cotrina, P. Y. (2018). *Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación dig rate en el tajo tapado oeste de Minera Yanacocha, Cajamarca 2017*. [Tesis de titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11537/13781>
- Sueros Lezama, C. H. (2021). *Implementación de emulsiones energéticas Fortis Extra en roca Traquita*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4394>
- Quispe Arque, J. C. (2018). *Evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas de la minera Las Bambas - Cotabambas, Apurímac*. [Tesis de titulación, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/3684>
- Cárdenas, J. (2022). *Mejora de fragmentación a través de la aplicación de carga explosiva en el taco para la reducción de sobre tamaños en roca de alta*. [Paper de conferencia]. Repositorio institucional. <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-321.pdf>
- Esen, S. (2019). *Drill-to-mill plant optomization at altynalmas pustynnoye gold mine*. [Paper de conferencia]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/11673/47313>
- EXSA (2015). *Manual práctico de voladura*. Obenido de: https://kupdf.net/download/exsa-manual-de-voladura_5988dae7dc0d602618300d18_pdf
- Orica. (02 de octubre del 2023). Productos y servicios. [https://www.orica.com/products---](https://www.orica.com/products---services)
[services](https://www.orica.com/products---services)
- I-KON III - Electronic Blasting System Orica. (2018). *I-KON III – Blaster 3000 Entrenamiento*.
- I-KON III - Electronic Blasting System Orica. (2018). *I-KON III – Logger II Entrenamiento*.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PREGUNTAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
General	General	General	Tipo: Aplicada
¿Es posible mejorar la tasa de excavación en la zona de mineral con alteración yeso anhidrita mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?	Mejorar la tasa de excavación en la zona de mineral con alteración yeso anhidrita mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en zona de taco en una mina en el sur del país, 2025.	Aplicar una emulsión encartuchada en zona de taco mejora la tasa de excavación en una mina en el sur del país, 2025.	Nivel: Descriptivo Cuasi Experimental
Específicos	Específicos	Específicos	Método: El método a usar será el Método Científico.
• ¿Es posible mejorar el P(80) de la fragmentación para alcanzar el KPI mina mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?	• Mejorar el P(80) de la fragmentación para alcanzar el KPI mina.	• Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el P(80) de la fragmentación alcanzando el KPI mina.	Diseño: Diseño cuasi experimental
• ¿Es posible mejorar el coeficiente de uniformidad de la fragmentación mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco en una mina en el sur del país, 2025?	• Mejorar el coeficiente de uniformidad de la fragmentación mediante la aplicación de una emulsión encartuchada en la zona de taco.	• Aplicar una emulsión encartuchada en la zona de taco mejora el coeficiente de uniformidad de la fragmentación.	Población: Voladuras realizadas en una mina en el sur del país entre los meses de julio a noviembre 2025.
• ¿Es posible diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™?	• Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™.	• Diseñar la carga explosiva para la malla de perforación en función de las propiedades del explosivo Senatel™ Pulsar™, es posible.	Muestra: Voladura de la zona de mineral Fase inferior entre los meses de julio a noviembre 2025.
			Técnicas: Documental (Base de datos del cliente) y observación en campo (resumen post voladura)