

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica**



TESIS

**Implementación de la emulsión gasificable para mejorar la  
fragmentación en el proceso de voladura**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.

Elaborado por

Erika Raquel Gallardo Coz

 [0009-0000-3390-192X](https://orcid.org/0009-0000-3390-192X)

Asesor

MBA. Víctor Manuel Hernández Díaz

 [0000-0001-8672-1234](https://orcid.org/0000-0001-8672-1234)

LIMA – PERÚ

2023

---

Citar/How to cite	Gallardo Coz [1]
Referencia/Reference	[1] E. Gallardo Coz, " <i>Implementación de la emulsión gasificable para mejorar la fragmentación en el proceso de voladura</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Gallardo, 2023)
Referencia/Reference	Gallardo, E. (2023). <i>Implementación de la emulsión gasificable para mejorar la fragmentación en el proceso de voladura</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*Dedicado con mucho cariño a mi familia,  
especialmente a mis padres Mila y David,  
por su apoyo y constante motivación;  
a mi hermano William por ser mi ejemplo;  
a Dios por siempre estar conmigo y a mi primo  
Carlos que está en el cielo y en nuestro ♥.*

## **Agradecimientos**

Al Equipo de Operaciones Mina CMC, por su apoyo continuo y por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto dentro de la organización. Su visión estratégica y su compromiso con la innovación han sido fundamentales. Aprecio profundamente la confianza y el siempre transmitir sus conocimientos que suman a mi formación académica y profesional.

Al Ing. Victor Hernández e Ing. Eder Salazar por su tiempo, experiencia y compromiso con la excelencia académica, me han motivado y desafiado constantemente a dar lo mejor de mí. Sus valiosas sugerencias, revisiones y comentarios críticos han enriquecido enormemente mi trabajo.

## Resumen

El presente trabajo fue realizado en una mina, donde el mineral post voladura es transportado directamente al PAD de lixiviación (Mine to PAD), es decir no interviene ningún proceso de conminución. Es importante controlar el tamaño del material fragmentado, como el porcentaje de finos y el p80 del material volado.

En el proceso de voladura se utiliza el Heavy Anfo 46 como explosivo, lo que genera un p80 de 5.2 pulgadas, superando las 4 pulgadas que es lo indicado por el área de planta, mientras que el porcentaje de finos en promedio es 32.2% cuando lo recomendable es que sea menor al 20% para que no afecte el descenso de la solución cianurada entre los niveles del pad. Además, en temas ambientales, con el Heavy Anfo 46 se generan humos naranjas durante el proceso de voladura, incurriendo en altos costos y consecuencias ambientales por emisión de gases nitrosos.

El proyecto se centra en el reemplazo del Heavy Anfo 46 y en su lugar implementar la emulsión gasificable SANG APU 100% GAS, lo que permitiría ampliar la malla, reducir el factor de potencia, aprovechar una mayor VOD, menor costo de la emulsión en comparación con el Heavy Anfo 46, además que al ser gasificable se puede trabajar con diferentes densidades finales dependiendo del tipo de roca a fin de reducir el porcentaje de finos generados y controlar el P80. De esta forma, se logra obtener la granulometría adecuada, se mitiga la presencia de gases nitrosos y se controla las vibraciones, además, en temas económicos el cambio de mezcla explosiva representa un ahorro en \$/t.

Palabras clave — Lixiviación, conminución, finos, P80, Heavy Anfo, gases nitrosos, emulsión gasificable, VOD, densidades, roca, vibraciones.

## Abstract

This work was carried out in a mine, where the post-blasting ore is transported directly to the leaching PAD (Mine to PAD), i.e. no comminution process is involved, for subsequent irrigation in cells. It is important to control the size of the fragmented material, such as the percentage of fines and the p80 of the blasted material.

In the blasting process, Heavy Anfo 46 is used as explosive, which generates operating results where the p80 is 5.2 inches, exceeding the 4 inches indicated by the plant area, while the percentage of fines on average is 32.2% when it is recommended to be less than 20% so as not to affect the descent of the cyanide solution between the pad levels. In addition, in environmental issues, with Heavy Anfo 46 orange fumes are generated during the blasting process, the explosive is not fully used to fragment the rock mass, incurring high costs and environmental consequences due to nitrous gas emissions.

For this reason the following project focuses on the replacement of Heavy Anfo 46 and instead implement the gasifiable emulsion SANG APU 100% GAS, which would allow to expand the mesh, reduce the power factor, take advantage of a higher VOD, lower cost of the emulsion compared to Heavy Anfo 46, in addition to being gasifiable can work with different final densities depending on the type of rock consuming less explosive charge per drill hole, in order to reduce the percentage of fines generated and control the P80. In this way, the adequate granulometry is obtained, in environmental issues the presence of nitrous gases is mitigated and vibrations are controlled, besides, in economic issues the change of explosive mixture represents a saving in \$/t.

Keywords — Leaching, comminution, fines, P80, Heavy Anfo, nitrous gases, gasifiable emulsion, VOD, densities, rock, vibrations.

# Tabla de Contenido

Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xiii
Capítulo I. Generalidades .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	1
1.2.1 Problema General .....	1
1.2.2 Problemas Específicos .....	1
1.3 Justificación de la investigación .....	2
1.3.1 Técnica .....	2
1.3.2 Económica .....	2
1.3.3 Ambiental .....	2
1.4 Objetivos del estudio .....	2
1.4.1 Objetivo general .....	2
1.4.2 Objetivo específico .....	3
1.5 Hipótesis de la tesis .....	3
1.5.1 Hipótesis general .....	3
1.5.2 Hipótesis específica .....	3
1.6 Antecedentes investigativos .....	3
1.6.1 Antecedentes locales .....	3
1.6.2 Antecedentes nacionales .....	5
1.6.3 Antecedentes internacionales .....	6
1.6.4 Variables e indicadores .....	7
1.6.5 Matriz de consistencia .....	8
Capítulo II. Marco teórico y conceptual .....	9
2.1 Marco teórico .....	9
2.1.1 Geología .....	9
2.1.2 Operaciones unitarias .....	10
2.1.3 Clasificación de voladuras .....	13
2.1.4 Parámetros de voladura .....	14
2.1.5 Parámetros .....	17
2.2 Marco conceptual .....	33
2.3 Normas y reglamentaciones .....	35
2.4 Clasificación rocosa .....	36
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....	39
3.1 Ubicación y accesibilidad .....	39
3.2 Metodología del estudio .....	40
3.2.1 Tipo y diseño de la investigación .....	40
3.2.2 Unidad de análisis .....	40
3.2.3 Etapas de la investigación .....	40
3.3 Variables operativas y de diseño .....	40

3.3.1	Variables controlables de una voladura de rocas .....	40
3.3.2	Variables no controlables de una voladura de rocas .....	41
3.4	Explosivos y accesorios .....	41
3.5	Indicadores de voladura (KPI's) .....	41
3.6	Análisis granulométrico de muestras .....	42
3.7	Aplicación de la metodología.....	43
3.8	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
3.8.1	Wincheo .....	43
3.8.2	Análisis de densidades.....	45
3.9	Procesamiento de la información .....	46
3.9.1	Proyecto #1: P 3972 014.....	47
3.9.2	Proyecto #2: P 3964 014.....	52
3.9.3	Proyecto #3: P 3956 003.....	56
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....		63
4.1	Análisis técnico de resultados .....	63
4.2	Análisis económico de resultados .....	64
4.2.1	Costos de explosivos .....	64
4.2.2	Cuadro comparativo de los 3 proyectos analizados. ....	64
4.3	Formulación de la hipótesis nula ( $H_0$ ).....	66
4.4	Contrastación de la hipótesis .....	74
4.4.1	Ahorro conservando el diseño de malla ampliada .....	76
4.4.2	Proyección de ahorro según el budget 2022 .....	76
4.5	Análisis de enfoques del proyecto.....	79
4.5.1	Enfoque interno.....	79
4.5.2	Enfoque externo.....	80
Conclusiones .....		81
Recomendaciones .....		83
Referencias bibliográficas.....		84
Anexos .....		1



## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Matriz de consistencia.....	8
Tabla 2: Propiedades de la emulsión gasificada SAN G APU .....	26
Tabla 3: Características técnicas de la solución N-30.....	27
Tabla 4: Guía de monitoreo de vibraciones.....	36
Tabla 5: Guía ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras.....	36
Tabla 6: Resumen del cálculo de mallas en zona suave.....	37
Tabla 7: Resumen del cálculo de mallas en zona competente.....	37
Tabla 8: Vías de acceso a Compañía Minera Coimolache S.A .....	40
Tabla 9: Resumen de pruebas granulométricas realizadas en el BC 3972 PY 7,8.....	42
Tabla 10: Resultados de porcentaje de finos y p80.....	42
Tabla 11: Tabla comparativa del HA46 y SAN G 100%GAS.....	47
Tabla 12: Diseño de carga del proyecto 3972 014 .....	48
Tabla 13: Velocidad de detonación del proyecto 3972 014 .....	49
Tabla 14: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3972 014.....	49
Tabla 15: P80 y porcentaje de Finos del proyecto 3972 014.....	50
Tabla 16: Monitoreo de vibraciones del proyecto 3972 014 .....	51
Tabla 17: Diseño de carga P 3964 014.....	53
Tabla 18: Velocidad de Detonación del proyecto P 3964 014 .....	53
Tabla 19: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto P3964 014 .....	54
Tabla 20: P80 y % de Finos del proyecto 3964 - 014.....	55

Tabla 21: Monitoreo de vibraciones del proyecto 3964 014 .....	56
Tabla 22: Velocidad de Detonación del proyecto P 3956 003 .....	58
Tabla 23: Velocidad de Detonación del proyecto P 3956 003 .....	58
Tabla 24: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto P3956 003 .....	59
Tabla 25: P80 y % de Finos del proyecto 3956 003 .....	61
Tabla 26: Monitoreo de vibraciones del proyecto 3956 003 .....	61
Tabla 27: Comparación de los 3 proyectos analizados .....	63
Tabla 28: Cuadro de costos de explosivos (Set 21-Jul 22) .....	64
Tabla 29: Comparación económica de los 3 proyectos .....	66
Tabla 30: Estadística descriptiva de p80 de ambos explosivos .....	67
Tabla 31: Probabilidad de p80 de ambos explosivos .....	69
Tabla 32: Estadística descriptiva de porcentaje de finos de ambos explosivos .....	70
Tabla 33: Probabilidad de porcentaje de finos de ambos explosivos .....	71
Tabla 34: Parámetros de cada explosivo .....	73
Tabla 35: Comparación de resultados utilizando SAN G APU vs. HA46 .....	75
Tabla 36: Ahorro considerando el diseño de malla ampliada .....	76
Tabla 37: Proyección de ahorro según el Budget 2022 .....	77
Tabla 38: Diferencia de costos por explosivo .....	77

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Diseño de voladura amortiguada y producción .....	13
Figura 2: Estructura del Heavy ANFO.....	23
Figura 3: Diseño de carga con Heavy ANFO y emulsión gasificable.....	24
Figura 4: Kit de campo para calcular la densidad de emulsión.....	27
Figura 5: Cálculo de densidad en campo .....	28
Figura 6: Booster de pentolita .....	30
Figura 7: Detonador electrónico Intellishot .....	31
Figura 8: Base comander.....	32
Figura 9: Tagger para iniciar detonación.....	32
Figura 10: Fanel, detonador no electrónico (Back up de Intellishot) .....	33
Figura 11: Zonificación del tajo Mirador Norte, por tipo de alteración y tipo de material. .	38
Figura 12: Ubicación de los 3 tajos de U.M Tantahuatay .....	39
Figura 13: Etapas de la aplicación de la metodología .....	43
Figura 14: Actividad de wincheo. ....	44
Figura 15: Wincheo en malla de perforación .....	44
Figura 16: Análisis de densidad en copa con balanza eléctrica .....	45
Figura 17: Esponjamiento en copa para calcular densidad .....	46
Figura 18: Diseño de malla de P 3972 014 .....	48
Figura 19: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3972 014 .....	49
Figura 20: Control de gases del proyecto 3972 014.....	50

Figura 21: Secuencia de voladura del proyecto 3972 014.....	51
Figura 22: Diseño de Malla P 3964 014 .....	52
Figura 23: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3964 014 .....	54
Figura 24: Control de gases del proyecto 3964 014.....	55
Figura 25: Pre y post voladura respectivamente del proyecto 3964 014 .....	56
Figura 26: Diseño de malla P 3956 003 .....	57
Figura 27: Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3956 003 .....	59
Figura 28: Control de gases del proyecto 3964 014.....	60
Figura 29: Secuencia de detonación del proyecto 3956 003.....	62
Figura 30: Distribución Normal Standard I .....	68
Figura 31: Distribución normal de p80 con SAN G.....	69
Figura 32: Distribución normal de p80 con HA 46.....	69
Figura 33: Distribución Normal Standard II .....	71
Figura 34: Distribución normal de porcentaje de finos con SAN G.....	72
Figura 35: Distribución normal de porcentaje de finos con HA 46.....	72
Figura 36: Distribución normal del p80 con ambos explosivos.....	73
Figura 37: Distribución normal del porcentaje de finos con ambos explosivos.....	74
Figura 38: Enfoque interno del proyecto .....	79
Figura 39: Enfoque externo del proyecto .....	80

## Introducción

El proyecto trata del cambio de mezcla explosiva, el migrar del Heavy Anfo 46 (En adelante HA 46) a la emulsión San G 100% GAS, y demostrar el cumplimiento de los objetivos propuestos y corroborar las hipótesis planteadas, utilizando la emulsión San G 100% GAS. Se analiza partiendo de una línea base donde no se alcanzan los indicadores en fragmentación con el Heavy Anfo 46, obteniendo un p80 en promedio de 5.2 pulgadas y porcentaje de finos 32.2%, superando los valores indicados por el área de planta, donde el p80 debe ser 4 pulgadas y el porcentaje de finos 20%, para que no afecte el descenso de la solución cianurada entre los niveles del pad de lixiviación.

Además de abordar factores operativos, como la granulometría, p80, porcentaje de finos, velocidad de detonación, entre otros; se considera dentro del estudio el factor medioambiental, mostrando el control de vibraciones y la generación de gases nitrosos con ambos explosivos, así como el factor económico demostrando un ahorro en \$/t.

## **Capítulo I. Generalidades**

### **1.1 Descripción del problema**

En minería, los explosivos liberan una gran cantidad de energía durante la explosión, sólo el 20-30% es utilizada para el fracturamiento y desplazamiento de las rocas, mientras que el resto de esta energía se desperdicia en forma de efectos secundarios ambientales. (Ghasemi et al., 2011)

En el presente caso de estudio, el utilizar Heavy Anfo 46 como explosivo genera resultados operativos donde la granulometría de mineral (p80) es en promedio 5.2 pulgadas, superando las 4 pulgadas que es lo indicado por el área de planta, mientras que el porcentaje de finos en promedio es 31.2% cuando lo recomendable es que sea menor al 20% para que no afecte el descenso de la solución cianurada entre los niveles del pad.

Además, en temas ambientales, con el Heavy Anfo 46 se generan humos naranjas durante el proceso de voladura, no se aprovecha el explosivo en su totalidad para fragmentar el macizo rocoso, incurriendo en altos costos y consecuencias ambientales por emisión de gases nitrosos.

### **1.2 Formulación del problema**

#### **1.2.1 Problema General**

- ¿En qué medida el utilizar Heavy Anfo 46 no permite cumplir con la fragmentación (p80) y porcentaje de finos esperados?

#### **1.2.2 Problemas Específicos**

- ¿Cuál es el impacto económico al no cumplir con el p80 y porcentaje de finos utilizando el Heavy Anfo 46?

- ¿Cómo se relaciona los malos resultados operativos y la velocidad de detonación del Heavy Anfo 46?
- ¿De qué manera el uso de Heavy Anfo 46 genera impacto negativo en el medio ambiente y las comunidades?

### **1.3 Justificación de la investigación**

#### **1.3.1 Técnica**

Esta investigación muestra los resultados post voladura de utilizar el Heavy Anfo 46 y la emulsión San G 100% GAS, donde el uso de la emulsión permite obtener los resultados esperados en granulometría y otras ventajas como valor agregado.

#### **1.3.2 Económica**

El aumento progresivo del precio del nitrato de amonio durante el primer semestre del 2021, implicó buscar reemplazo para el uso de Heavy Anfo 46. Una opción de reemplazo fue la emulsión San G 100% GAS, la cual al ingresar al taladro se esponja, generando que se use menor cantidad de explosivos (Kg) por taladro, sin perder propiedades para alcanzar una óptima fragmentación.

#### **1.3.3 Ambiental**

El uso de la emulsión San G 100% GAS, técnicamente presenta la calificación más baja de la categoría de humos en comparación al uso del Heavy Anfo 46. Para el control de vibraciones se aprovecha la distribución de la carga explosiva dentro del taladro para una liberación uniforme de energía, evitando que perturbe a zonas aledañas durante el proceso de voladura.

### **1.4 Objetivos del estudio**

#### **1.4.1 Objetivo general**

- Demostrar el cumplimiento de los indicadores de fragmentación, donde el porcentaje de finos tiene que ser menor al 20% y el p80, 4 pulgadas en promedio, con la utilización de la emulsión San G APU 100% GAS.

#### **1.4.2 Objetivo específico**

- Determinar el ahorro en \$/t al implementar la emulsión San G APU 100% GAS con respecto al Heavy Anfo 46 considerando el Budget 2022.
- Comparar los resultados operativos de la fragmentación y la velocidad de detonación del Heavy Anfo 46 con la emulsión San G APU 100% GAS.
- Demostrar que en campo la categoría de humos con el uso de la emulsión San G APU 100% GAS se encuentran por debajo de lo establecido en la norma ambiental.

### **1.5 Hipótesis de la tesis**

#### **1.5.1 Hipótesis general**

- La utilización de la emulsión San G APU 100% GAS influirá en la mejora de la fragmentación, permitiendo alcanzar los targets de voladura.

#### **1.5.2 Hipótesis específica**

- La implementación de la emulsión San G 100% GAS significará un ahorro de costos en voladura.
- El utilizar la emulsión San G 100% GAS permitirá obtener mejores resultados operativos con el aumento de la velocidad de detonación, los cuales mejorarán el proceso de voladura.
- El uso de la emulsión San G 100% GAS reducirá la emisión de humos naranjas, los cuales en la categoría de humos se encontrarán por debajo del límite establecido, cumpliendo con el reglamento.

### **1.6 Antecedentes investigativos**

#### **1.6.1 Antecedentes locales**

Según Quenaya (2014) en los últimos años las ciudades y/o centros poblados están cada vez más cerca de las operaciones mineras, por lo que estas se deben de adecuar para no perturbar la «tranquilidad» de sus habitantes, esto sin perjudicar la rentabilidad de la empresa. Para poder reducir los niveles de vibración y percepción, sin perjudicar la fragmentación; se realizó modificaciones en los diseños de las mallas de perforación,



diseño de cargas y secuencia de salida; para no afectar los costos se clasificó las zonas del tajo para poder ampliar la malla de perforación y compensar la reducción de estas en las zonas más cercanas a Colquijirca. El tema de vibraciones es amplio, con cada disparo y sus resultados se obtienen nuevas conclusiones que se van ajustando a los modelos matemáticos existentes y los costos inherentes a esta actividad se tienen que enfocar de forma global. (p.8).

Según Esteban (2001) señala que la fragmentación de rocas involucra la acción, la calidad de un explosivo y la respuesta de la masa de roca circundante en los aspectos de energía, tiempo y masa. Ninguna teoría sencilla que explique el movimiento de fracturamiento de roca aplicable a cualquier condición del par explosivo-roca, ha sido completamente aceptada. No obstante, la voladura de Rocas se ha considerado hasta épocas recientes como un arte nacido de la pericia y experiencia, pero en la actualidad este procedimiento se ha transformado en una técnica basada en principios científicos surgidos del conocimiento de las acciones ejercidas por los explosivos, los mecanismos de rotura de la roca y propiedades geomecánicas de los macizos rocosos, los modelos de predicción de fragmentación y las técnicas de evaluación de esta. El carguío y transporte de material es otra operación de importancia, debido a que ésta, a través de sus equipos, deberá cargar y transportar el material al chancado, o botaderos para la preparación de las siguientes fases de explotación. Por esta razón, después que se realiza la voladura de un diseño teórico es necesario realizar una evaluación de ésta con ayuda de instrumentación y tecnología moderna ya que su interpretación permitirá introducir modificaciones sucesivas en las variables de diseño de las siguientes voladuras, constituyendo una etapa básica dentro del proceso de optimización. (p.7).

Vásquez (2015) menciona que la primera fase de las operaciones a realizar es la perforación de acuerdo con un sistema predeterminado de ubicación de cada uno de los taladros. A su vez el desarrollo tecnológico y su aplicación han logrado mejorar el proceso de perforación a través del sistema Dispatch de Alta Precisión y la modernización de las perforadoras. Para perforar, desde un punto de vista operativo, se necesitan varios

componentes siendo los principales la máquina perforadora y los aceros de perforación. El conocimiento técnico, la implementación de tecnologías y mejores prácticas más el control de dichos componentes son las herramientas fundamentales para buscar la optimización del proceso de perforación que asegurará y maximizará la eficiencia de un disparo. (p.7).

### **1.6.2 Antecedentes nacionales**

Según David (2013) quien analizó el aumento sustancial en el factor de carga de diseños de voladura de alta intensidad, donde predispone al mineral a un menor tiempo de proceso en planta y por ende a un menor costo de tratamiento, el cual justifica ampliamente el mayor uso de explosivo a un menor costo global. Los resultados de las auditorias y muestreos fueron utilizados para la modelación y simulación de los procesos de voladura, chancado y molienda, frente a posibles opciones de voladura de alta intensidad que logren optimizar el rendimiento de los molinos, concluyendo en un aumento del factor de potencia del 70%, con una reducción de malla y aumento del diámetro de perforación. (p.5).

León (2010) observó que una de las causas recurrentes podría ser la mala práctica operativa al momento de la carga por parte del operador del camión de explosivos y la calidad del explosivo. Finalmente, se ha cuantificado y medido los resultados esperados, los cuales demostraron que fue posible la eliminación de humos tóxicos, mejorando el rendimiento del explosivo y mejorando el rendimiento de perforación y voladura, eliminando humos tóxicos. (p.6).

Zapana (2018) en su investigación tiene como finalidad demostrar los resultados de las voladuras con una nueva tecnología en explosivo, una mezcla explosiva gasificable, de la empresa Orica, el cual desarrolla muy alta energía y desempeño, combinada con una alta velocidad de detonación, entregando muy buenos resultados en fragmentación, siendo de aplicación para taladros con agua y los beneficios que representa en el ahorro en costos de minado. El trabajo describe el desarrollo de 15 voladuras de prueba, en las zonas de Minitajo, Jahuapaylla intermedia y Jahuapaylla alta, esto originó la necesidad de modificar sistemas técnicos y operativos, como el rediseño en los parámetros de perforación y voladura, capacitación técnica especializada en la aplicación del nuevo explosivo,

acondicionamiento de la logística a la tecnología de gasificación. Los resultados obtenidos en Mina Las Bambas con la aplicación integral de la mezcla explosiva gasificada, se ve reflejado en una adecuada fragmentación del mineral volado lo que genera ahorros en el carguío y en el proceso de chancado y molienda. (p.5).

### **1.6.3 Antecedentes internacionales**

Quiroga (2013) analiza la faena minera en El Soldado de Anglo American, donde se está probando alternativas de diseño en perforación y voladura, cuya finalidad es cuantificar los resultados del proceso, para luego obtener las variables que entreguen el mayor beneficio global mina-planta. Específicamente se cuantificó la variación del rendimiento efectivo de las palas y la variación de las toneladas por hora del molino SAG. El rendimiento de las palas y las toneladas por hora del SAG se obtuvieron de la base de datos y del dispatch de la mina. Se obtuvieron modelos granulométricos y de rendimiento de las palas, en base a las variables relevantes, principalmente en torno al factor de carga. (p.23).

Music (2007) en el desarrollo de su trabajo da cuenta de un diagnóstico técnico, enfocado a evaluar la eficiencia general y los actuales estándares de las voladuras de desarrollo horizontal, en el nivel de producción en La Mina Reservas Norte de División El Teniente de Codelco Chile. La gran cantidad de variables que interactúan en una voladura hace necesario adaptar y desarrollar técnicas que permitan una correcta evaluación de este proceso, antes, durante y después de su ocurrencia, así como de una adecuada cuantificación y control del daño que ella puede producir, conducente a lograr un diseño óptimo. Las metodologías que se aplicaron para esta evaluación son de dos tipos: la primera, referente al análisis del registro de vibraciones producto de las voladuras, donde se cuantificó su comportamiento a través del macizo rocoso y su efecto sobre el contorno, y la segunda relacionada con la implementación en sí del disparo. (p.2).

Aguirre (2016) propone encontrar la rentabilidad técnico-económica de aplicar explosivos de alta energía en la voladura mediante análisis de fragmentación, análisis de pérdidas por cargas redireccionadas por fragmentación gruesa, costos y rendimiento de

chancador, con el objetivo de optimizar la operación mediante la reducción de costos y granulometría con el propósito de estandarizar la voladura en un sector particular de la minera. De los resultados obtenidos, se tiene que utilizando un explosivo de alta energía se logra un proceso exitoso en términos de optimización, ya que logra reducir la granulometría, sin embargo, los costos del proceso de perforación y voladura aumentan. Esto último se ve compensado en el flujo de caja, ya que se obtienen resultados más favorables en cuanto a las pérdidas por cargas redireccionadas por fragmentación gruesa las cuales se redujeron en sobremanera con la utilización del explosivo de alta energía, obteniéndose un balance global positivo en cuanto al uso de esta nueva alternativa. (p.2).

#### **1.6.4 Variables e indicadores**

##### **Variables independientes.**

- Implementación de la emulsión San G 100% GAS
- Control de p80 y porcentaje de finos
- Diseño de carga de explosiva
- Monitoreo de gases

##### **Variables dependientes**

- Mejorar la fragmentación
- Ahorro en costo (\$/tal)
- Incremento de la velocidad de detonación
- Reducción y mitigación de humos naranjas

##### **Indicadores de voladura**

- Granulometría (p80)
- Porcentaje de finos
- Costos por taladro (\$/tal)

### 1.6.5 Matriz de consistencia

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES		INDICADORES	TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTES	INDEPENDIENTES		
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>		
¿En qué medida el utilizar Heavy Anfo 46 no permite cumplir con la fragmentación (p80) y porcentaje de finos esperados?	Demostrar el cumplimiento de los indicadores de fragmentación, donde el porcentaje de finos tiene que ser menor al 20% y el p80, 4 pulgadas en promedio, con la utilización de la emulsión San G APU 100% GAS.	H1: La utilización de la emulsión San G APU 100% GAS influirá en la mejora de la fragmentación, permitiendo alcanzar los targets de voladura.	Mejorar la fragmentación	Implementación de la emulsión San G 100% GAS		
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Xn</b>	<b>Yn</b>		
¿Cuál es el impacto económico al no cumplir con el p80 y porcentaje de finos utilizando el Heavy Anfo 46?	Determinar el ahorro en \$/t al implementar la emulsión San G APU 100% GAS con respecto al Heavy Anfo 46 considerando el Budget 2022.	H2: La implementación de la emulsión San G 100% GAS significará un ahorro de costos en voladura.	Ahorro en costo (\$/t)	Control de p80 y porcentaje de finos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Granulometría (p80)</li> <li>• Porcentaje de finos</li> <li>• Costos por taladro (\$/tal)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación simple y sistemática en campo</li> <li>• Checklist</li> </ul>
¿Cómo se relaciona los malos resultados operativos y la velocidad de detonación del Heavy Anfo 46?	Comparar los resultados operativos de la fragmentación y la velocidad de detonación del Heavy Anfo 46 con la emulsión San G APU 100% GAS.	H3: El utilizar la emulsión San G 100% GAS permitirá obtener mejores resultados operativos con el aumento de la velocidad de detonación los cuales mejorarán el proceso de voladura.	Incremento de la velocidad de detonación	Diseño de carga de explosiva		
¿De qué manera el uso de Heavy Anfo 46 genera impacto negativo en el medio ambiente y las comunidades?	Demostrar que en campo la categoría de humos con el uso de la emulsión San G APU 100% GAS se encuentran por debajo de lo establecido en la norma ambiental	H4: El uso de la emulsión San G 100% GAS reducirá la emisión de humos naranjas, los cuales en la categoría de humos se encontrarán por debajo del límite establecido, cumpliendo con el reglamento.	Reducción y mitigación de humos naranjas	Monitoreo de gases		

Nota: Elaboración propia

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 Geología

**Yacimiento.** La mina en cuestión es un depósito epitermal de alta sulfuración de oro y plata de tipo ácido-sulfato. Este depósito está compuesto por una secuencia de rocas volcánicas y piroclásticas con composiciones andesíticas y dacíticas. También se encuentran brechas freáticas e hidrotermales, así como alteraciones silíceas masivas y porosas, principalmente de tipo vuggy silica, y alteraciones argílicas avanzadas con ensamble de sílice-alunita, sílice-pirofillita, diáspora y dickita en menor proporción. (Zamora, 2014)

**Mineralización.** En la zona de óxidos, se encuentra principalmente oro como partículas microscópicas que están asociadas a óxidos de hierro, tales como la limonita y la hematita, las cuales llenan las fracturas y la matriz de brechas. A continuación de esta zona, se encuentra la mineralización de sulfuros, que consta principalmente de piritita, enargita y covelita, y se encuentra a una profundidad de más de 100 metros. Una revisión geológica y la aplicación de una matriz de tipos de mineral, basada en los valores de ratio de oro, ha permitido una determinación más precisa de los límites entre los horizontes de mineral oxidado, transicional y sulfuros, lo que ha llevado a un aumento en las reservas de mineral oxidado. (Zamora, 2014)

**Geología Regional.** La cordillera de los Andes es la consecuencia topográfica de un entorno de contacto de placas tectónicas. En el Perú hay un límite convergente, un

margen activo del tipo continental, donde la placa de Nazca se introduce en una zona de subducción bajo la placa Sudamericana. La subducción lleva a las rocas y sedimentos a profundidades de la corteza terrestre donde la temperatura y presión producen la fundición de la roca. El magma origina rocas plutónicas y volcánicas de composición intermedia a ácida (por ejemplo, granitos, andesitas, riolitas). Este material fundido tiene una baja densidad si se compara con las rocas circundantes y por lo tanto tiende a ascender, empezando un proceso de intrusión, a fin de conseguir un balance físicoquímico. El producto geomorfológico de este proceso es un arco volcánico. Durante la fase del ascenso del magma, este es enfriado y se liberan fluidos, reaccionando y lavando las rocas circundantes. El enfriamiento y la interacción de estos fluidos con las rocas cercanas a la superficie (1-2 km de profundidad) es el proceso de formación de los depósitos de oro en Mirador Norte y Tantahuatay (Perez, 2008)

**Estratigrafía regional.** Está conformada por el substrato del Arco Volcánico Cenozoico constituido por unidades estratigráficas cretácicas de origen marino y continental que corresponden al relleno de la cuenca mesozoica Cajamarca. Las secuencias sedimentarias están constituidas por los sedimentos marinos pelíticos carbonatados del Cretácico medio a superior representada por las formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Pullucana, y Chota. La posterior actividad del arco volcánico cenozoico ha originado que se depositen en discordancia angular sobre el substrato cretácico las secuencias volcánicas continentales del Grupo Calipuy diferenciada localmente como formación Llama. (Chacaltana, C., Peña, D., Rodríguez, R., Valdivia, W., 2011)

### **2.1.2 Operaciones unitarias**

**Perforación.** La operación unitaria de “Perforación” es la primera que se realiza en el ciclo operativo minero, a fin de para preparar la zona a perforar (macizo rocoso) para la voladura. Su objetivo es aperturar en la roca huecos cilíndricos denominados “taladros” con el propósito de colocar explosivos y accesorios de voladura. (Calderón, M. et al., 2015,

p. 70). En la unidad minera donde se realizó la investigación se utilizan taladros de producción (7 7/8") y de precorte o secundarios (3 1/2")

**Voladura.** La operación unitaria de "Voladura", tiene como fin romper y fragmentar el material in situ, que posteriormente será cargado y trasladado por los equipos de carguío y acarreo. En la unidad minera donde se realizó la investigación, para lograr una voladura optima se consideran parámetros adecuados de burden y espaciamiento, tiempos entre filas, diseño de salida para evitar la dilución, con la asistencia técnica de la empresa encargada del explosivo. (González Jiménez, J. L., Menéndez Arias, N., & Cendón Franco, D.; 2013)

**Carguío y acarreo.** El objetivo del carguío y acarreo es retirar el material volado del frente y transportarlo adecuadamente a su lugar de destino, para lo cual se realiza la preparación de la zona de trabajo, posicionamiento de equipos, luego se procede a retirar el material volado desde la frente de carguío a volquetes para realizar el transporte y descarga del material a su lugar de destino (planta, acopio, botaderos, etc.). En la unidad minera donde se realizó la investigación se emplean volquetes de 25.5 t. INACAP. (s.f.). Material de extracción mina II - Carguío y transporte. INACAP

**Mine to PAD.** En la unidad minera del objeto de estudio, el proceso metalúrgico se lleva a cabo mediante la lixiviación del mineral ROM obtenido a través de la voladura en tajo, el cual es depositado en una pila para su tratamiento con solución cianurada. El resultado del proceso es la producción de barras doré, que contienen oro y plata, las cuales son vendidas posteriormente.

**Procesos de recuperación.** En la planta se realizan dos procesos: Merrill Crowe y ADR.

Merrill Crowe (precipitación con zinc): En metalurgia, la precipitación de los metales preciosos como el oro y la plata comienza con el proceso de clarificación de la solución preñada, que se deriva de los procesos previos, como la lixiviación en pilas. La clarificación se lleva a cabo en filtros de hojas que contienen mallas metálicas con una tela de filtro sintético. Una vez que la solución ha sido filtrada, se traslada a la torre de vacío, donde se



elimina el oxígeno disuelto mecánicamente mediante un proceso de alto vacío. Este paso es crucial, ya que la presencia de oxígeno puede dificultar la precipitación de los valores metálicos. Finalmente, la solución se precipita para producir oro y plata. Durante el proceso metalúrgico, después de la clarificación de la solución preñada que proviene de procesos como la lixiviación en pilas, se agrega polvo de zinc para desencadenar una reacción química de oxidación y reducción. Como resultado, el oro se adhiere a las partículas de zinc junto con otros compuestos como el mercurio y la plata. A continuación, el precipitado de oro y plata se obtiene mediante la filtración de la solución a través de filtros prensa. Luego, se derretirá en un horno para extraer el mercurio, que se mezclará con fundentes. Después, se fundirá para separar el oro y los valores de plata de otros metales básicos. El producto final, denominado Doré, se verterá en moldes para formar barras y, posteriormente, prepararlo para su envío. (Dinco SA, 2021)

ADR (adsorción, desorción y regeneración con carbón activado): En el proceso de ADR, se comienza por recibir una solución rica de la lixiviación en pilas y se deposita en una pila para ser bombeada posteriormente. Para asegurar su pureza, la solución se filtra a través de una malla antes de ingresar a las columnas de carbón activado. Este carbón poroso tiene una estructura que le permite absorber los valores de oro presentes en la solución rica. El carbón se activa en dos etapas, primero se oxida en una atmósfera de vapor y luego se calienta en presencia de agentes deshidratantes. La solución rica se inyecta en la primera columna y va subiendo hasta desbordar y continuar en la segunda columna y así sucesivamente. Después de pasar por las columnas, la solución es filtrada de nuevo y enviada a una pila de solución pobre debido a su bajo contenido de oro. En cada columna, el oro se deposita en los poros del carbón activado y la concentración disminuye en cada columna. El carbón que contiene oro se lava con una solución de cianuro caustico para extraer los metales preciosos y la solución resultante se envía a refinería para tratamiento en un proceso de electrodeposición. El carbón, sin valores, se envía al horno de reactivación para continuar el proceso. (Industry Manager Mining ECN Automation, 2019)

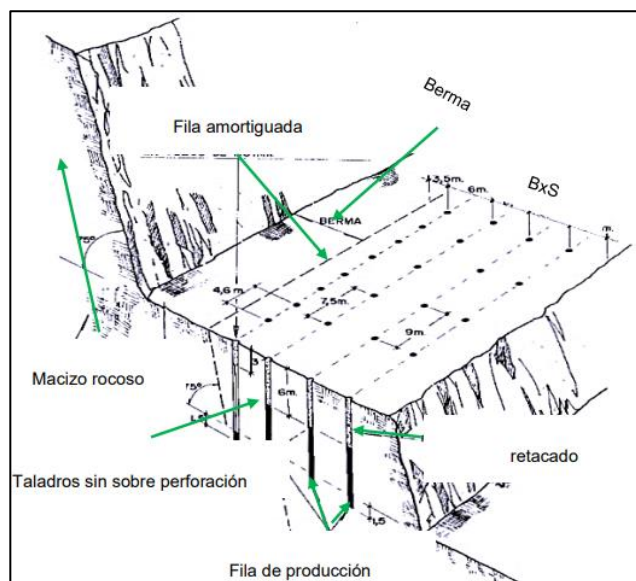
### 2.1.3 Clasificación de voladuras

**Voladura de producción.** Corresponden a las voladuras que no forman parte del diseño final del Pit, por lo que no colindan con paredes de diseño. Cabe mencionar que las voladuras de producción se pueden realizar tanto en mineral como estéril. Su objetivo es la separación del mineral de interés del macizo rocoso, además de disminuir el tamaño de las rocas asegurando una granulometría que facilite su transporte. La voladura de producción, por tanto, se caracteriza por estar orientada a mayores volúmenes de roca, poseer un único diseño y adecuado factor de carga, por el nivel de vibraciones. (Bravo, 2018)

**Voladura de Precorte.** Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de realizar la voladura de producción, por medio de una fila de taladros principalmente de pequeño diámetro, bastantes cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantáneos. La voladura de los taladros de precorte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero adelantando una fracción de tiempo (90 a 120 ms), como se muestra en la siguiente figura: (Tovar, 2015)

**Figura 1**

*Diseño de voladura amortiguada y producción*



*Nota:* Adaptado de (Salas, 1983)

#### 2.1.4 Parámetros de voladura

**Banco.** Zona programada para la perforación de taladros y voladura, según el programa establecido por el área de planeamiento. (Exsa, 2019).

**Altura de banco.** La altura de banco es un término utilizado en la minería para describir la longitud vertical desde la superficie superior hasta la superficie inferior. La determinación de la altura de banco es fundamental para la selección y operación de los equipos de excavación y carguío, así como para el diámetro de perforación, la resistencia de la roca en campo, la estabilidad de los taludes y la seguridad. Además, en los equipos de carguío y acarreo, es importante considerar la suficiencia volumétrica y la máxima altura de elevación de la pala del equipo de excavación, así como su forma de trabajo. Los cargadores frontales y las palas se utilizan para levantar cargas, mientras que las retroexcavadoras se utilizan para desgarrar hacia abajo. (Exsa, 2019).

Es así que la relación, se puede definir de la siguiente manera:

$$S_r = \frac{H_b}{B} \quad (1)$$

Dónde:

$H_b$  = Altura de banco (m)

$B$  = Burden

Si:

$S_r > 2$  es bueno

$S_r = 3$  es óptimo

$S_r < 2$  es malo

**Burden.** Es uno de los parámetros más importantes y complejos en el diseño de la malla de perforación, y se refiere a la dimensión del borde, que es la longitud más corta a la cara libre en el momento de la voladura. Si el burden es demasiado grande, pueden producirse aberturas en el lugar, mala fragmentación y problemas de perfil en el pie de

banco, entre otros. Por otro lado, si el burden es muy pequeño, pueden generarse flyrock, finos y vibraciones muy altas. Para calcular el burden se utilizan modelos matemáticos específicos. (Zavala, 2017).

Modelo de Andersen: Este modelo tiene en cuenta, que el burden está de acuerdo con el diámetro y longitud del taladro (Exsa, 2019).

$$B = \sqrt{\phi \times L} \quad (2)$$

Donde:

B: Burden (m)

$\phi$ : Diámetro del taladro (pulg)

L: Longitud del taladro (pies).

Modelo de RAsh: Contempla que el burden, está de acuerdo con la densidad del explosivo utilizado y la densidad de la roca a fragmentar (Exsa, 2019).

$$B = \phi_{tal} \times 30 \times \left( \frac{2.563}{\rho_{roca}} \times \frac{\rho_{exp}}{1.3} \right)^{1/3} \times 0.0254 \quad (3)$$

Dónde:

B = burden (m)

$\phi_{tal}$ : diámetro del taladro (pulg)

$\rho_{roca}$ : densidad de la roca (gr/cc)

$\rho_{exp}$ : densidad del explosivo (gr/cc)

Modelo de Konya: Se basa en el modelo de Rash y tiene en cuenta cómo la relación entre el diámetro de la carga explosiva, la densidad de la roca y la densidad del explosivo utilizado afectan al burden. (Exsa, 2019).

$$B = 0.012 \times \left( \frac{2 \times \rho_{exp}}{\rho_{roca}} \times 1.5 \right) \times (\phi_{tal} \times f_c) \quad (4)$$

Donde:

B: burden (m)

$\rho_{roca}$ : Densidad de la roca (gr/cc)

$f_c$ : factor de corrección: 0.73 (burden campo/ burden teórico)

$\rho_{exp}$ : Densidad del explosivo (*gr/cc*)

$\phi_{tal}$  = Diámetro de taladro (*mm*)

Modelo de Langefors: Estima que el tamaño del burden también es influenciado por la energía relativa que posee el explosivo, el nivel de confinamiento al que se encuentra sometida la roca, el tipo de material que se está perforando y el grado de fracturación presente en la masa rocosa. (Exsa, 2019).

$$B = \frac{\phi_{tal} \times 25.44}{33} \times \sqrt{\frac{\rho_{exp} \times PRP}{(c+0.75) \times f \times \frac{S}{B}}} \quad (5)$$

Donde:

$\phi_{tal}$ : diámetro (*pulg*)

PRP: potencia relativa en peso ANFO; 0.89

*f*: varia de 0.85 a 1 para:

0.85 taladros inclinados 2:1

0.90 taladros inclinados 3:1

1 para taladros verticales.

*c*: varia de 0.30 a 0.50 para:

0.30 roca suave

0.40 roca dura

0.50 roca muy dura

Modelo de Pearse: En este modelo, se considera que el tamaño del burden se relaciona con la composición del explosivo utilizado, la presión generada por la detonación de la carga y la capacidad de la roca para resistir la tensión dinámica durante la voladura en terreno. (Exsa, 2019).

$$R = B = \frac{KD}{12} \times \sqrt{\frac{P_2}{Std}} \quad (6)$$

$$K = 1.96 - 0.27 \times \ln(ERQD) \quad (7)$$

$$ERQD = RQD \times JSF \quad (8)$$

Donde:

R: Radio crítico

B: Burden (pies)

K: Factor de volabilidad

D: Diámetro (pulgadas)

P<sub>2</sub>: Presión de detonación de la carga explosiva (psi)

Std: Resistencia a tensión dinámica de la roca (psi)

ERQD: Índice de calidad de la roca equivalente (%)

RQD: Índice de calidad de roca

JSF: Joint Strength correction Factor de corrección para JSF.

**Espaciamiento.** Se refiere a la distancia entre los taladros de una sola fila. La determinación del espaciamiento se hace teniendo en cuenta el burden y el tiempo programado para la voladura. Es importante tener en cuenta que si los taladros se inician simultáneamente, los espaciamientos deben ser más grandes para evitar resultados negativos. Si los espaciamientos son demasiado pequeños, se generará demasiada trituración y partes inestables en el talud. Por el contrario, si el espaciamiento es grande, se generará una mala fragmentación, perfil malo en el pie de banco y una cara libre desigual. La medida del espaciamiento se determina de la siguiente manera: (Zavala, 2017).

$$E = 1.15 \times B \quad (9)$$

B: Burden

E: Espaciamiento

### 2.1.5 Parámetros

#### Parámetros controlables

**Diámetro de taladro.** Esto dependerá: Altura de Banco, economía del proceso de perforación y voladura, restricciones de los equipos de perforación (Salas,1983).

**Taco.** Hace referencia a una sección del taladro que se llena de material estéril para contener la energía liberada en la voladura y confinar el taladro. Este parámetro debe ser calculado con cuidado, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: si la división entre el diámetro de la carga en milímetros y la longitud del taco en metros es superior a 55, existe la posibilidad de generar flyrock. Por otro lado, si se sobrepasa la longitud del taco, se pueden generar bloques en la parte superior del banco, dando lugar a lo que se conoce como mala fragmentación. Estas consideraciones son importantes para el diseño adecuado de la malla de perforación, con el objetivo de evitar problemas en la fragmentación de la roca y en la voladura. (Zavala, 2017).

$$T = K \times \phi_{tal} \quad (10)$$

$$T = 0.7 \approx 1.6 \times B \quad (11)$$

Donde:

T=taco (m)

B= burden (m)

$\phi_{tal}$  = diámetro de taladro (m)

K = 20 a 35 en función al tipo de material a usar

**Longitud del taladro.** Resulta de la adición de la medida de altura de banco y la sobreperforación correcta por debajo del nivel del piso para asegurar su adecuada voladura y evitar que queden toes, que perjudican al desempeño del equipo de limpieza y deben ser quitados con voladura secundaria. La sobreperforación tiene que ser por lo mínimo de 0,3 veces el valor del burden, por ello se tiene: (Exsa, 2019).

$$L = H + 0.3B \quad (12)$$

donde:

H: altura del banco.

B: burden.

**Sobreperforación.** Es la longitud adicional perforada para garantizar la correcta granulometría y acomodación de equipos post voladura, se calcula teniendo en cuenta varios factores. Si la sobreperforación es demasiado pequeña, no se logrará la geometría planificada en el pie del banco, lo que puede resultar en una voladura secundaria costosa. Por otro lado, si la sobreperforación es demasiado grande, puede haber un aumento en la cantidad de vibraciones y una granulometría no planificada, así como una sobre excavación. (Zavala, 2017). Las formas de calcular la sobreperforación son las siguientes:

$$S_p = K \times \phi_{tal} \quad (13)$$

$$S_p = 0.3 \times B \quad (14)$$

$S_p$  = Sobreperforación (m)

$K \approx 8 - 12$

$\phi_{tal}$  = Diámetro del taladro (m)

$B$  = Burden (m)

**Ángulo de perforación.** Una de las variables críticas en el diseño de la voladura es el ángulo de perforación, el cual puede ofrecer varios beneficios, incluyendo una mejor fragmentación y desplazamiento del material, así como la uniformidad del perfil del banco. En algunos casos, se utiliza para prevenir tiros cortados. Además, el ángulo adecuado puede contribuir a la estabilidad y seguridad de los taludes en los nuevos bancos y mejorar la eficiencia de las palas cargadoras al permitir un apilamiento más eficiente con menor altura. Finalmente, un ángulo óptimo de perforación puede reducir la sobreperforación y, por lo tanto, disminuir el consumo de explosivos. (Zavala, 2017).

**Cara libre.** Es el espacio en vacío que tiene el talud o banco para el desplazamiento del material volado. Hace posible que las ondas se reflejen contra ella, originando fuerzas de tensión que permiten producir la fragmentación de la roca. (Calderón, 2015)

**Secuencia de detonación.** La secuencia de detonación de los taladros dispuestos en una malla es conocida como la secuencia de iniciación o voladura. Al elegir la secuencia de voladura adecuada, se consideran varios factores importantes, como la cantidad y



ubicación de las caras libres, la orientación de las principales fallas y diaclasas, la dirección del material a fragmentar y la protección de las paredes del talud final. (Romero, 2016)

### **Parámetros no controlables**

**Características del macizo rocoso.** El macizo rocoso está formado por una o varias rocas que incluyen diferentes características estructurales como planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros elementos. Debido a esto, los macizos rocosos son discontinuos y pueden tener propiedades heterogéneas y anisótropas. (Rodríguez, 2007)

**Mecánica de rocas.** Es una disciplina científica que se ocupa tanto de la teoría como de la práctica, y que se enfoca en el estudio de las propiedades y el comportamiento mecánico de los materiales rocosos en respuesta a las fuerzas internas y externas que actúan sobre ellos. El objetivo de la mecánica de rocas es predecir y controlar el comportamiento de los materiales rocosos en diferentes situaciones. (Ramírez, 2007)

### **Explosivos y accesorios de voladura**

**Explosivos.** Son combinaciones de diferentes sustancias en distintos estados físicos, tales como sólido, líquido o gas, que mediante reacciones químicas de óxido-reducción pueden transformarse rápidamente en productos condensados y gaseosos en cuestión de microsegundos. Como resultado, se genera una masa gaseosa con alta temperatura y presión que puede ser utilizada para fines de voladura. (Exsa, 2019).

**Explosivos Comerciales.** Principalmente se componen de mezclas que incluyen nitrato de amonio o nitroglicerina como su componente principal, y se dividen en Gelatinas, Dinamitas y Agentes Explosivos. (Guerra, 2013).

- Los agentes de voladura, no sensibles al fulminante N°8
- Los altos explosivos, sensibles al fulminante N°8

Entre los altos explosivos sensibles se tiene:

- Explosivos hidrogel y emulsiones sensibilizadas.
- Dinamitas

- Explosivos especiales.

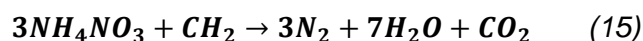
Entre los agentes de voladura no sensibles se tiene:

- Los agentes de voladura granulares, Anfo y secos.
- Los Agentes de voladura acuosa son: Hidrogeles o Slurries, emulsiones y agentes mixtos como Emulsión/ANFO o ANFOs pesados. (Guerra, 2013).

**Accesorios de voladura.** Los elementos necesarios para detonar el explosivo incluyen diversos dispositivos como el cable de conexión, mecha de seguridad, detonador eléctrico o no eléctrico, fulminantes, cordón detonante y multiplicador. (Exsa, 2019).

**Nitrato de amonio.** El nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) es una sal inorgánica de color blanco cuya temperatura de fusión es de  $160.6\text{ }^\circ\text{C}$ . Aisladamente, no es un explosivo, pues solo adquiere tal propiedad cuando se mezcla con una pequeña cantidad de un combustible y reacciona violentamente con él aportando oxígeno. Frente al aire que contiene 21% de oxígeno, el Nitrato de amonio posee el 60 %. Aunque el Nitrato de amonio puede encontrarse en diversas formas, en la fabricación de explosivos se emplea aquel que se obtiene como partículas esféricas o prills porosos, ya que es el que posee mejores características para absorber y retener a los combustibles líquidos y es fácilmente manipulable sin que se produzcan apelmazamientos y adherencias (Salas, 1983).

**ANFO.** Este explosivo es conocido como ANFO, que es la abreviatura de Ammonium Nitrate-Fuel Oil en inglés, y se ha convertido en el explosivo más utilizado en la minería a cielo abierto a nivel mundial. ANFO ha reemplazado a otros explosivos como la dinamita y gelatinas debido a su bajo costo y facilidad de manipulación. La reacción que se produce en la mezcla ANFO es la siguiente: (Zavala, 2017).



Se produce una cantidad de energía de 927 kcal/kg y un volumen de gases de 970 l/kg mediante la reacción de la mezcla de Ammonium Nitrate (AN) - Fuel Oil (FO). Esta mezcla estequiométrica consiste en un 94,5% de nitrato de amonio y un 5,5% de petróleo, lo que da lugar a un equilibrio de oxígeno igual a 0 y evita la emisión de gases contaminantes. La capacidad del nitrato de amonio para ser poroso facilita la mezcla más

homogénea de los combustibles líquidos, lo que a su vez permite que se exponga una mayor superficie para la reacción química. Al reducirse el diámetro crítico, aumenta su sensibilidad a la detonación a través de la reacción de un iniciador. (Zavala, 2017).

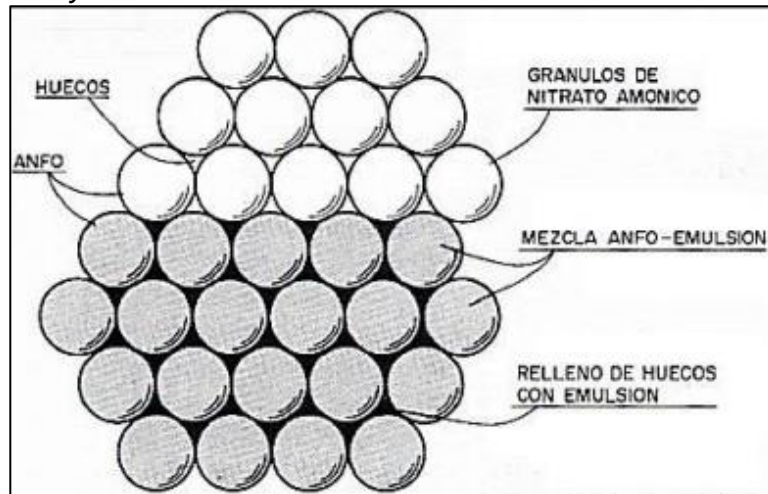
La densidad del Anfo tiene un impacto en sus propiedades explosivas, incluyendo la velocidad de detonación (VOD). A medida que la densidad aumenta, también lo hace la VOD, pero al mismo tiempo es más difícil lograr la iniciación. Cuando la densidad supera los 1,2 g/cm<sup>3</sup>, el Anfo ya no es funcional y no se puede detonar o solo lo hace en el área cercana al iniciador. (López, 2000).

El Anfo tiene varias ventajas en comparación con otros explosivos convencionales, como su baja sensibilidad que lo hace más seguro, su fácil carga en los taladros y su bajo costo. En su forma líquida, tiene la ventaja adicional de llenar completamente los espacios del taladro, lo que garantiza una utilización eficiente del explosivo. No obstante, debido a su baja resistencia al agua, es necesario mezclarlo con otro agente de voladura para mejorar sus propiedades y resistencia. (Zavala, 2017).

**Heavy ANFO.** El Heavy ANFO es una mezcla de nitrato de amonio y combustible diésel, en la que la cantidad de diesel utilizada es mayor que en el ANFO convencional. Debido a la mayor proporción de diesel, el Heavy ANFO tiene una densidad más alta y una mayor capacidad de energía, lo que lo hace adecuado para voladuras en rocas más duras y resistentes. En la siguiente figura se muestra la estructura del Heavy ANFO (Xiao & Zhang, 2016, p. 460-465).

**Figura 2**

*Estructura del Heavy ANFO*



Nota: Adaptado de (Du Pont, 1986)

**Emulsión.** Estos explosivos consisten en una fase acuosa formada por pequeñas gotas de disolución de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o de  $\text{NaNO}_3$ , rodeadas por una película de aceite mineral de 10-4 mm de grosor (fase continua). Por lo tanto, estos explosivos están compuestos principalmente de nitrato amónico o nitrato sódico, con un contenido de agua entre el 14 y el 20%, un 4% de gasoil y una pequeña cantidad (1-2%) de otros componentes adicionales, como agentes emulsificantes. Algunos fabricantes incluyen en la mezcla de emulsiones explosivas burbujas de aire o microesferas huecas de vidrio para aumentar la onda de detonación y la sensibilidad, y partículas de aluminio para aumentar su potencia. La emulsión explosiva consiste en una fase dispersa de pequeñas gotas de disolución de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o  $\text{NaNO}_3$  en agua rodeadas por una fina película de aceite mineral, lo que la convierte en un explosivo con una apariencia similar a la pasta y que puede ser bombeado o envasado en cartuchos. Además, la película de aceite sirve como una barrera protectora para el nitrato contra el agua y proporciona una gran área de contacto entre el oxidante y el combustible, lo que resulta en una reacción efectiva. Estas características generan un explosivo con las siguientes propiedades. (Bernaola, 2013).

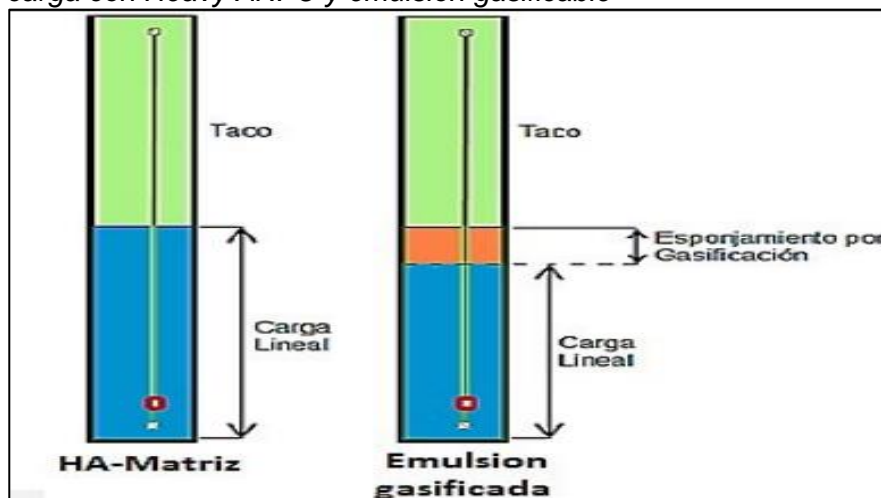
- Una gran resistencia al agua.
- Una gran velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Muchísima menor sensibilidad al choque o a la fricción.

La combinación del Anfo con emulsión puede variar en proporciones que van desde 90/10 hasta 50/50, lo que provoca una variación en sus características dependiendo de la proporción de sus componentes, obteniendo mezclas con alta o baja resistencia al agua. Las mezclas ricas en emulsión, también conocidas como hidrogel, pueden ser bombeadas desde camiones y tienen una velocidad de detonación elevada. La densidad de estas mezclas disminuye a medida que aumenta el contenido de Anfo, con valores que oscilan entre 1,25 y 1,10 g/cm<sup>3</sup>. (Bernaola, 2013).

**Emulsión gasificable.** Explosivos a base de emulsión sensible a agentes químicos; alcanza su sensibilidad dentro del taladro. Químicamente, están formulado para reaccionar con los nitritos de sodio, un agente potenciador. El producto de la sensibilidad es una mezcla explosiva de densidad baja y variable que depende de una mayor o menor adición de un agente potenciador. La superposición dentro del orificio debido a su sensibilidad significa que el orificio requiere menos carga explosiva y se obtiene la misma altura de carga de diseño. La siguiente figura muestra que se produce en un taladro lleno de emulsión gasificadora en comparación con otro cargado con ANFO pesado basado en la emulsión matriz cuya carga lineal no cambia con la concentración constante. (Puma, 2020)

**Figura 3**

*Diseño de carga con Heavy ANFO y emulsión gasificable*



Nota: Adaptado de (Wilson Vilela, 2014)

Los aspectos más actuales de la emulsión gasificable en comparación con ANFO y ANFO pesado son:

- Altas velocidades de detonaciones, 5600 m / s.
- Un amplio rango de densidad desde 0,80 a 1,20 g / cm<sup>3</sup>.
- Resistencias al agua.
- Uniformidad del material dentro del taladro. (Puma, 2020)

**SAN G APU 100%.** La emulsión Sang Apu es un tipo de explosivo compuesto por una fase combustible continua y una mezcla oxidante dispersa en ella, estabilizada por un emulsificante. Es capaz de ser sensibilizada en el lugar de trabajo antes de llenar los taladros con la solución gasificante, lo que resulta en un explosivo de menor densidad, resistente al agua, muy viscoso y con mayor velocidad de detonación que el Anfo. Además, puede ser sensibilizada con Anfo en diferentes medidas y ser gasificada. Este tipo de emulsión fue diseñada específicamente para su uso en minería a cielo abierto en macizos rocosos con temperaturas entre 0°C y 40°C.

Para su distribución, la emulsión Sang Apu es transportada por camiones de fábrica equipados con un sistema de gasificación de emulsión matriz. Este sistema cuenta con un equipo de programación lógica (PLC) que permite planificar y programar la proporción de emulsión, Anfo, solución gasificante y agua a distribuir, y también controla en tiempo real la temperatura y la presión de bombeo. Además, cuenta con una seguridad automatizada que detiene el proceso de bombeo y gasificación si la presión de la bomba de trabajo supera los 160 psi. (Ficha técnica - Famesa, 2018)

La emulsión gasificable se puede transferir a los taladros mediante el uso de bombas o por medio de gravedad desde los camiones de la fábrica. Después de llenar los taladros con la emulsión, se debe esperar un tiempo de 20 minutos antes de colocar el taco en el taladro.

La emulsión matriz es ideal para trabajar en áreas con condiciones húmedas, secas o inundadas y con diferentes tipos de rocas. Cuando se llena un taladro, las columnas

explosivas se acoplan por completo, generando toda la energía que contienen. Esta emulsión es segura ya que solo se vuelve explosiva al final del proceso de sensibilización, antes de ser cargada en los taladros. Se puede cargar a diferentes densidades y energías, lo que permite obtener una excelente granulometría y eficiencia del 23% desde la mina hasta su molienda en la planta o disposición en las canchas de lixiviación. Además, su gran poder rompedor permite ampliar las mallas de perforación y reducir los costos asociados. Su fácil manejo disminuye el tiempo de carga de los taladros.

Se utiliza con una solución gasificante (N-30) que la sensibiliza antes de ser cargada en los taladros, produciendo así un agente de voladura gasificado. La tabla siguiente ilustra las características técnicas de esta emulsión gasificable. Es importante destacar que su proceso de sensibilización se lleva a cabo antes del carguío para garantizar su seguridad y eficacia en la voladura. (Ficha técnica - Famesa, 2018)

**Tabla 2**

*Propiedades de la emulsión gasificada SAN G APU*

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Densidad relativa de la matriz (g/cm <sup>3</sup> )	1,32 ± 3%
Densidad relativa de la matriz sensibilizada (g/cm <sup>3</sup> )	0.80 a 1.20
Viscosidad de la matriz en condiciones normales, (CP) (•)	Min. 12 000
Velocidad de detonación de la matriz sensibilizada (m/s) (••)	4 800 a 5 800
Presión de detonación (kbar)	51 a 98
Energía (kcal/kg)	805
Volumen normal de gases (L/kg)	1 025
Potencia relativa en peso (%) (•••)	90
Potencia relativa en volumen (%) (•••)	152
Resistencia al agua	Excelente
Categoría de humos	Primera
Diámetro crítico (mm)	76 (3 pulgadas)
Tiempo de permanencia en el taladro (días)	7

(•) Medido en el viscosímetro BROOKFIELD HA DVII a 50 RPM.

(••) Confinado en tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro

(•••) Potencias relativas referidas al ANFO, con potencia convencional de 100.

*Nota:* Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

**Solución N-30.** Es un agente sensibilizante no detonable compuesto por una solución acuosa de sales oxidantes balanceadas químicamente de naturaleza iónica. Se

utiliza en combinación con la Emulsión Matriz SAN-G, SAN-G APU, EMULFRAG y PYROSAN-G antes de su carguío en los taladros para producir una mezcla explosiva homogénea de menor densidad. La Solución N-30 permite sensibilizar la emulsión matriz en un menor tiempo que la Solución Gasificante Estándar (Solución N-20), logrando la densidad deseada de operación en tan solo 15 minutos. Está diseñada para trabajar en un rango de temperatura de la emulsión matriz de 0°C a 35°C. Es importante destacar que la Solución N-30 no es explosiva antes de mezclarse con la emulsión matriz. La siguiente tabla muestra las características del nitrito N-30 (Ficha técnica - Famesa, 2018)

**Tabla 3**

*Características técnicas de la solución N-30*

Características	Unidad	Solución N-30
Aspecto físico	-	Líquido acuoso
Color	-	Azul de tonalidad variable
Densidad a 20cc	g/cm3	1,11
pH	-	4,5

*Nota:* Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

Verificación de densidad de emulsión Gasificada San G APU. En la siguiente fotografía, se observa la medición de la densidad de la emulsión gasificable San G APU, a través del kit de densidades y las tablas que ésta contiene.

**Figura 4**

*Kit de campo para calcular la densidad de emulsión*



*Nota:* Elaboración propia



## Figura 5

### *Cálculo de densidad en campo*



Nota: Elaboración propia

Se puede controlar la densidad de la emulsión gasificable de acuerdo a la temperatura y concentración del componente N 30, de tal manera que se logre la densidad adecuada para la roca en cuestión. La densidad final se alcanza después de 20 minutos de llenado del taladro y puede variar entre  $0.90$  y  $1.10 \text{ g/cm}^3$ , dependiendo del tipo de roca. Para rocas blandas, se utiliza una densidad de  $0.90 \text{ g/cm}^3$ , mientras que para las rocas duras se ha probado una densidad de  $1.10 \text{ g/cm}^3$ . (Ficha técnica - Famesa, 2018)

**Proceso de gasificación.** Después de haber iniciado el proceso de llenado de los taladros con la mezcla de la emulsión matriz gasificable y el N30, se produce una reacción química entre ambos elementos que genera un explosivo esponjoso y se evidencia por la aparición de burbujas de nitrógeno. En el momento de la voladura, estas burbujas se convierten en "puntos calientes", dando inicio al disparo y propagando la onda de detonación por toda la columna explosiva. Es importante mencionar que todos los procesos de gasificación provocan una disminución en la densidad a lo largo del tiempo, la cual se

observa al exceder el volumen del contenedor utilizado para su almacenamiento. (Lopez, 2021)

**Tiempo de gasificación.** La etapa que se inicia desde que se mezcla la emulsión gasificable con el sensibilizante hasta que se alcanza la densidad deseada en el interior del taladro es un proceso que dura aproximadamente 20 minutos. Durante este tiempo, se verifica la eficacia del explosivo dentro del taladro. Además, se ha comprobado que el explosivo conserva su efectividad hasta por 30 días en el interior del taladro. Esto fue demostrado cuando se presentó una huelga en la comunidad cercana al proyecto, y no se pudo realizar la voladura de una malla durante ese período. Una vez que se reanudó el trabajo después de los 30 días, se realizó la voladura y se obtuvo un excelente rendimiento en el disparo. (Lopez, 2021)

**Solución sensibilizante.** El agente sensibilizante es conocido también como una combinación equilibrada químicamente de sales oxidantes iónicas en solución acuosa, y es considerado inactivo o no detonable. Antes de cargar los taladros, este componente puede ser mezclado en el lugar en distintas proporciones con la emulsión San G APU para generar una composición explosiva uniforme de menor densidad. La solución sensibilizante N-30 es utilizada para sensibilizar la emulsión y producir un explosivo de menor densidad en comparación con otras mezclas gasificantes en el mercado. Además, esta solución sensibiliza la emulsión en un periodo más corto, alcanzando la densidad necesaria en el trabajo en 20 minutos, y está diseñada para trabajar en un rango de temperaturas de la emulsión entre 0°C a 35°C. La mezcla se produce in situ en diferentes proporciones con la Emulsión San G APU, logrando una mezcla de menor densidad. (Ficha técnica - Famesa,2018)

**Booster.** El booster también es conocido con el nombre de “primer”, “cebo” o “cast booster” estando compuesto principalmente por pentolita. Es utilizado para iniciar explosivos insensibles o agentes de voladura de tipo slurries, ANFO y nitracarbonitratos, donde un fulminante común o el poder explosivo de un cordón detonante no los activa. Son cargas explosivas de alta potencia y gran seguridad, destinadas a la iniciación de agentes

de voladura. Su envase de plástico protege a la mezcla explosiva que contiene, permitiéndole ser más insensible a los golpes o roces, así como una mayor resistencia al ataque del agua presente en algunas perforaciones. Es el más eficiente iniciador de agentes de voladura que se fabrica y es especialmente recomendable para diámetros medianos y grandes. (Garcia,2017). La siguiente fotografía muestra un booster en la malla de perforación antes de ser primado:

### Figura 6

*Booster de pentolita*



Nota: Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

**Detonador electrónico – Intellishot.** Es un sistema de iniciación moderno, cuya función es iniciar una columna explosiva a acompañado de un Booster. A diferencia de otros sistemas de iniciación esta es mucho más precisa y exacta, evitando distribuciones de energía fuera de tiempo. En la siguiente fotografía se visualiza un detonador electrónico intellishot:

## Figura 7

*Detonador electrónico Intellishot*



*Nota:* Elaboración propia

**Commander Blasting System.** El control de la unidad se realiza de forma inalámbrica mediante un CE4 Tagger o una tableta. Utilizando comunicación RF de larga distancia desde un punto de explosión, hasta 10 comandantes de banco, una base y un repetidor opcional pueden ser desplegados para una sola explosión. El sistema cuenta con cuatro canales que pueden conectar hasta 400 detonadores, lo que proporciona una capacidad total de 1600 detonadores por comandante. Además, el sistema puede manejar altos niveles de fuga al verificar el voltaje antes de detonar. Con un diseño resistente y único que incorpora una antena de largo alcance, el sistema puede manejar las condiciones más duras de minería. Por último, la explosión se inicia mediante tarjetas sin contacto. (Dyno Nobel South America - CE4 Commander Blasting System, 2020). Las siguientes fotografías muestran el proceso de configuración en el base comander, previo a la detonación de la malla de perforación.

## Figura 8

*Base comander*



*Nota: Elaboración propia*

## Figura 9

*Tagger para iniciar detonación*



*Nota: Elaboración propia*

**Detonador no electrónico.** Este conjunto de accesorios de voladura es una solución integrada que satisface tanto los requisitos de iniciación convencionales como los conceptos modernos de voladura. En la imagen se puede observar un detonador no electrónico, el cual se compone de un fulminante número 12, un tubo de choque altamente resistente a la tracción y la abrasión, un conector plástico "J" robusto y una etiqueta. La identificación del detonador se realiza a través de dos puntos ubicados en el clip y la etiqueta. (Garcia,2017).

### Figura 10

*Fanel, detonador no electrónico (Back up de Intellishot)*



Nota: Elaboración propia

## 2.2 Marco conceptual

- *Vibraciones*, son producidas por las ondas sísmicas generadas al detonar explosivos para fragmentar la roca en la minería o canteras. Dichas vibraciones pueden ocasionar daños a estructuras cercanas como puentes, edificios, tuberías y otros equipos, lo que puede ser motivo de inquietud para las comunidades que rodean la zona minera. (Hamanaka, A., 2011)
- *Taladros*, son perforaciones que se realizan en la roca con el fin de introducir explosivos y fragmentar la roca en trozos más pequeños. Estos taladros se hacen

utilizando una variedad de técnicas y herramientas, como taladros manuales, taladros neumáticos y taladros hidráulicos. Depende del diseño, tienen determinado subdrilling, altura y diámetro. (Bhandari, S.K.,1997)

- *Romper*, implica la separación de la roca en fragmentos más pequeños debido a la detonación de un explosivo. Esta acción se produce gracias a la fuerza de la onda de choque y los gases en expansión que actúan sobre la pared del taladro y se transmiten a la roca adyacente, lo que causa la propagación de ondas a través de la roca. (García, 2017)
- *Gases nitrosos*, son producidos por la reacción del oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire con los gases y partículas emitidos durante la voladura. Estos gases pueden tener efectos negativos en la salud humana, como irritación en los ojos y problemas respiratorios, y también pueden contribuir a la formación de lluvia ácida y otros problemas ambientales. (CSIC, 2012)
- *Factor de potencia*, es la relación entre la energía real generada por la detonación de explosivos y la energía teórica que debería generarse si la explosión se hubiera producido de manera perfecta. El factor de potencia se utiliza como una medida de la eficiencia de la explosión y puede ser utilizado para optimizar el diseño y la ejecución de la voladura. Normalmente se expresa en unidades de Kg de explosivo/ Toneladas rotas por el explosivo. (Ouchterlony, F.,1992)
- *Taco*, es un material utilizado para tapar los orificios de los taladros en los que se introducirán los explosivos. El taco se coloca en el fondo o en la parte superior del taladro, se utiliza para comprimir, confinar y contener los explosivos dentro del taladro antes de la detonación. (Hustrulid, W. A. y Kuchta, M., 1995)
- *Tiro quemado*, es un taladro que no detonó correctamente y no produjo la fragmentación deseada de la roca. Esto puede deberse a una variedad de factores, como la mala calidad de los explosivos, una geometría de carga incorrecta o una mala planificación de la voladura. (Bhandari, S.K., 1997).

- *Burden*, es la distancia entre el frente de la roca y el taladro en el que se colocarán los explosivos. Es un parámetro importante en la planificación de la voladura ya que afecta la eficacia de la explosión y la fragmentación de la roca. (Ouchterlony, F., 1992).
- *Velocidad de detonación (VOD)*, se refiere a la velocidad a la que se propaga la onda de choque generada por la detonación a través del explosivo. Es un parámetro importante a considerar en la selección de un explosivo para la voladura de rocas, ya que puede afectar la calidad de la fragmentación y la eficiencia de la voladura. Generalmente un explosivo con mayor velocidad de detonación, tiende a producir una mayor fragmentación del macizo rocoso en comparación a una menor VOD. (Paul W. Cooper y Stanley I. Strum, 1996)

### **2.3 Normas y reglamentaciones**

Para el control de vibraciones y nivel de ruido, los valores de PPV y dB obtenidos con la utilización del explosivo emulsión SAN-G APU 100% GAS, a una distancia promedio de 303 m, debe respetar el límite establecido según la norma peruana 25.4 mm/s en PPV y 80 dB (según el reglamento de salud y seguridad ocupacional D.S 023 2017 EM) y menor a 129 dB. En las siguientes tablas, se muestran los máximos valores permisibles en vibraciones y sonidos, según la Guía ambiental para la perforación y voladura en operaciones mineras y el Reglamento de salud y seguridad ocupacional DS 023-2017.



**Tabla 4***Guía de monitoreo de vibraciones*

<b>Exposición a Vibración en Cuerpo Completo</b>	
El valor máximo permisible de la aceleración en 8 horas será de: 1.15m/s <sup>2</sup> .	
El nivel de acción de la aceleración en 8 horas será de: 0.5m/s <sup>2</sup>	
(Referencia: Directiva de Comunidad Europea 2002/44/CE).	
<b>Exposición a Vibración en Mano-Brazo</b>	
Duración total diaria de la exposición <sup>1</sup>	Valores a no exceder por el componente de la aceleración dominante, rms, ponderada <sup>2</sup>
	m/s <sup>2</sup>
4 horas a menos de 8 horas	4
2 horas a menos de 4 horas	6
1 hora a menos de 2 horas	8
Menos de 1 hora	12

1: El tiempo total en que la vibración ingresa a la mano por día, ya sea continua o intermitente.  
 2: Usualmente uno de los ejes (x, y o z) de la vibración es el dominante (de mayor valor) sobre los otros dos. Si uno o más ejes exceden la exposición total diaria, entonces el límite ha sido excedido.

*Nota:* Adaptado del Reglamento de salud y seguridad ocupacional D.S 023 2017 EM

**Tabla 5***Guía ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras***Guía Ambiental Para La Perforación Y Voladuras En Operaciones Mineras (MEM - Perú 1995)**

Distancia Desde El Área De Voladura		PPV Máximo Permitida	
Metros	Pies	mm/s	Pulg/s
91	300	31.75	1.25
91 - 1524	301-5000	25.4	1
>1524	>5000	19.05	0.75

*Nota:* Adaptado del Ministerio de Energía y Minas (MEM), 1995

**2.4 Clasificación rocosa**

Se determinó que las alteraciones observadas en el Tajo Mirador fueron principalmente sílice masiva, sílice granular, andesita silicificada y brecha.

Los resultados que se muestran a continuación en las siguientes tablas son parte de los registros de las voladuras ejecutadas en el tajo Mirador Norte a fines del año 2021

y lo que va del año 2022, así como el análisis de la fragmentación en los frentes de minado utilizando el Sistema PortaMetrics

**Tabla 6**

*Resumen del cálculo de mallas en zona suave*

DUREZA	ALTERACIÓN	DETALLE	MALLA E x B (m)		HB (m)	SD (m)	DENSIDAD	TACO FINAL (m)	TOTAL KG.	FACTOR DE POTENCIA (Kgm)
			EXPLOSIVO FINAL (gr/cc)							
SUAVE	Argílica avanzada	PRODUCCION	6.6	x 5.7	8	0.3	1.10	4.5	136	0.20
		BUFFER 02	5.3	x 5.5	8	0	1.10	3	82	0.16
		BUFFER 01	5.3	x 6.2	8	0	1.10	6.9	41	0.07
	Argílica avanzada / Arnilón	PRODUCCION	7.2	x 6.3	8	0.3	1.10	4	157	0.19
		BUFFER 02	5.3	x 5.5	8	0	1.10	3	82	0.16
		BUFFER 01	5.3	x 6.2	8	0	1.10	7.4	21	0.04
	Argílico	PRODUCCION	7.2	x 6.3	8	0.3	1.05	4.5	136	0.18
		BUFFER 02	5.3	x 5.5	8	0	1.05	3	66	0.14
		BUFFER 01	5.3	x 6.2	8	0	1.05	7.4	21	0.04

Nota: Adaptado del área de perforación y voladura, asistencia técnica Famesa Explosivos S.A.C.

**Tabla 7**

*Resumen del cálculo de mallas en zona competente*

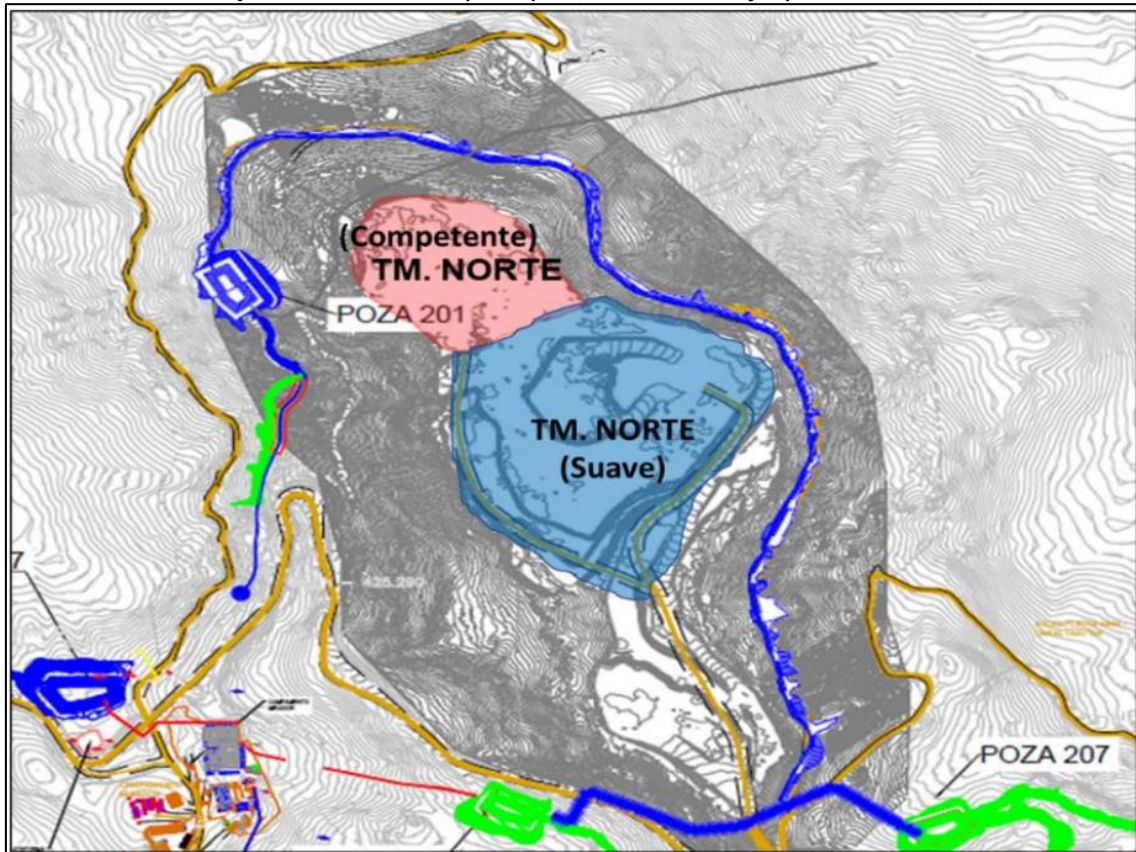
DUREZA	ALTERACIÓN	DETALLE	MALLA E x B (m)		HB (m)	SD (m)	DENSIDAD	TACO FINAL (m)	TOTAL KG.	FACTOR DE POTENCIA (Kgm)
			EXPLOSIVO FINAL (gr/cc)							
COMPETENTE	Sílice granular / Sílice masiva / Sílice Vuggy	PRODUCCION	6.3	x 5.5	8	0.3	1.12	4	157	0.25
		BUFFER 02	4.9	x 4.3	8	0	1.12	3	82	0.22
		BUFFER 01	4.9	x 5.5	8	0	1.12	6.9	41	0.09

Nota: Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

En el Tajo Mirador se tiene la siguiente caracterización de macizo rocoso de acuerdo a su dureza (suave y competente), dividido por el tipo de alteración (argílica avanzada/ argílica avanzada – argílico/ argílico y sílice granular/ sílice masiva / sílice vuggy), como se observa en las siguientes figuras.

**Figura 11**

*Zonificación del tajo Mirador Norte, por tipo de alteración y tipo de material*



*Nota:* Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1 Ubicación y accesibilidad

La Compañía Minera Coimolache S.A está ubicada en la comunidad de El Tingo, perteneciente al distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, en la ciudad de Cajamarca a una distancia aproximada de 85 Km a una altitud que varía entre los 3,750 y 4,050 m.s.n.m. Consta de 3 tajos: Tajo Tantauhatay, Mirador y Ciénaga, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 12**

*Ubicación de los 3 tajos de U.M Tantauhatay*



*Nota:* Adaptada de Google Earth 2022 en base a coordenadas

Desde Cajamarca existen una vía de acceso con dos tipos de vías, la primera es asfaltada en un tramo de 85 Km y la segunda de 5 Km, como muestra la siguiente tabla:

**Tabla 8***Vías de acceso a Compañía Minera Coimolache S.A*

Vía de acceso	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo
Cajamarca – Grifo Burga Vasquez	77.3	Asfaltada	2 h
Grifo Burga Vasquez – Compañía Minera Coimolache S.A	8	Trocha	20 min

Nota: Elaboración propia

**3.2 Metodología del estudio****3.2.1 Tipo y diseño de la investigación**

El presente estudio es una investigación cuantitativo-experimental. Cuantitativo porque se recopiló información en campo (altura de taco, taladro, etc) para procesar posteriormente la información en gabinete, es experimental porque busca establecer la relación causa-efecto, del cambio de mezcla explosiva-indicadores de voladura.

**3.2.2 Unidad de análisis**

Proyectos de voladura (Tajo Mirador Norte)

**3.2.3 Etapas de la investigación**

Se parte de la recolección de información en campo. Los datos recolectados en campo fueron: altura de taco, altura de taladro, densidad de explosivos, p80, porcentaje de finos, entre otros. Las muestras son los proyectos de voladura analizados para comparar los resultados obtenidos con los indicadores que se busca alcanzar (targets de fragmentación).

**3.3 Variables operativas y de diseño****3.3.1 Variables controlables de una voladura de rocas**

- Diámetro de taladro
- Sobreperforación
- Ángulo de perforación
- Tipo de explosivo
- Taco

- Longitud de carga
- Esponjamiento de explosivo
- Inicio y secuencia de detonación

### **3.3.2 Variables no controlables de una voladura de rocas**

- Características del macizo rocoso
- Mecánica de rocas (Presencia de cráteres)
- Rumbo y buzamiento
- Presencia de agua
- Temperatura del taladro y del ambiente

### **3.4 Explosivos y accesorios**

- Nitrato de amonio
- Heavy ANFO
- Emulsión gasificable (SANG APU 100% GAS)
- Solución sensibilizante (N30)
- Booster (1 lb)
- Detonador electrónico – Intellishot
- Detonador no electrónico – Fanel
- Cable jumper
- Tagger, base y bench commander

### **3.5 Indicadores de voladura (KPI's)**

- Factor de potencia
- Velocidad de detonación (VOD)
- Fragmentación – p80
- Porcentaje de finos y arcillas
- Presencia de humos

- Control de vibraciones

### 3.6 Análisis granulométrico de muestras

Se realizó el análisis granulométrico de diversas muestras post voladura en el año 2020-2022 con el uso del Heavy Anfo 46, obteniéndose la siguiente información en la siguiente tabla:

**Tabla 9**

*Resumen de pruebas granulométricas realizadas en el BC 3972 PY 7,8*

TAJO		MIRADOR BC3972 PY 7,8		
MALLA	ABERTURA (mm)	PESO (kg)	% PESO/MALLA	% ACUM. PASANTE
+ 6"	228.7	0.00	0.00	100.00
-6" + 4"	101.6	2.82	3.08	73.78
-4" + 2"	50.8	4.88	5.34	71.21
-2" + 1"	25.4	8.38	9.17	69.43
-1" + 1/2"	12.7	17.76	19.28	62.81
-1/2" + 1/4"	6.35	12.85	16.94	41.97
-1/4" + 1/8"	3.18	10.08	14.03	32.16
- 1/8"		28.98	32.16	0.00
TOTAL		85.75	100	

*Nota:* Elaborado en el Laboratorio CMC

La siguiente tabla muestra el resumen de porcentaje de finos y p80 de 50 muestras realizadas en los periodos de 2020 y 2021 para el Tajo Mirador.

**Tabla 10**

*Resultados de porcentaje de finos y p80*

Tajo Mirador	
Porcentaje de Finos <sup>1</sup>	32.16%
p80 (Pulgadas)	5.2

*Nota:* Elaborado en el Laboratorio CMC

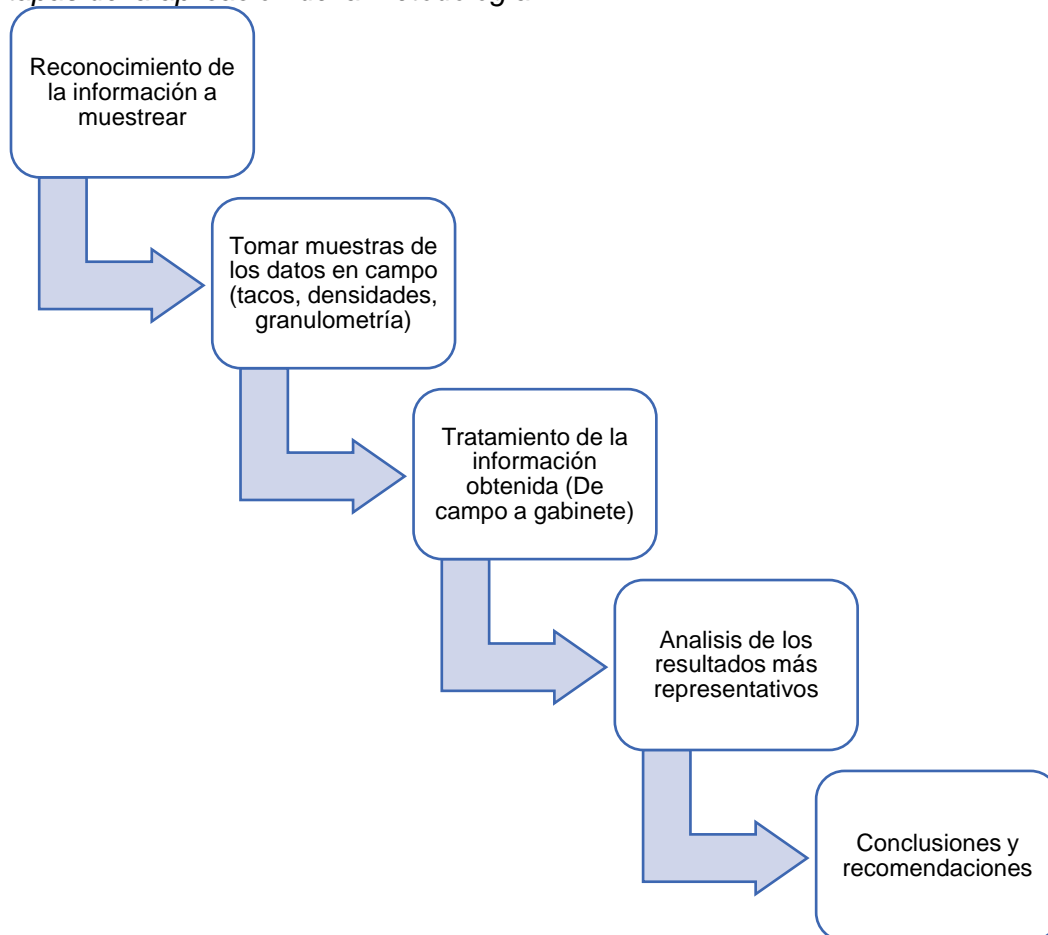
<sup>1</sup> Nota: Considerar finos a elementos de granulometría < 1/8" (0.125 pulgadas <> 0.003175 m)

### 3.7 Aplicación de la metodología

Se realizó el análisis de 3 proyectos con la implementación de la nueva emulsión SANG APU 100% GAS, donde se modificaron diversos parámetros de diseño, a fin de comparar y elegir el proyecto con su respectivo diseño de malla que genere los mejores resultados para alcanzar los indicadores esperados. La siguiente figura hace referencia a las etapas de la aplicación de la metodología:

**Figura 13**

*Etapas de la aplicación de la metodología*



*Nota:* Elaboración propia

### 3.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.8.1 Wincheo

Procedimiento donde se calcula la altura de taco por taladro, con ayuda de una cuerda o winche unido a una plomada en un extremo, lo que permite tocar el ras hasta la



altura donde se esponjó el explosivo dentro del taladro, luego se registran estos datos para calcular la carga explosiva, el esponjamiento del explosivo y el taco a lo largo de toda la altura del taladro. En las siguientes figuras se muestra el procedimiento de wincheo en la malla de perforación:

#### **Figura 14**

*Actividad de wincheo.*



*Nota:* Elaboración propia

#### **Figura 15**

*Wincheo en malla de perforación*



*Nota:* Elaboración propia

### 3.8.2 *Análisis de densidades*

Mientras se cargan los taladros con el camión fabrica, se procede a tomar una muestra de explosivo en un vaso metálico, se calcula el peso en la balanza electrónica, y con una tabla de equivalencias se considera la densidad correspondiente. Luego a medida que el explosivo va esponjando, con una espátula, se limpia al ras del vaso metálico calibrado el excedente y se recalcula la nueva densidad (cada 5 min, durante 20 min) para así tener la densidad inicial y final. Las siguientes imágenes muestran cómo se realiza el análisis de densidad de emulsión

**Figura 16**

*Análisis de densidad en copa con balanza eléctrica*



*Nota:* Elaboración propia

**Figura 17**

*Esponjamiento en copa para calcular densidad*





*Nota:* Elaboración propia

### **3.9 Procesamiento de la información**

El siguiente cuadro muestra las características del HA46 y la emulsión SAN G 100%GAS:

**Tabla 11**

*Tabla comparativa del HA46 y SAN G 100%GAS*

Característica	Emulsión SAN G 100%GAS	Heavy ANFO (HA46)
Descripción	Emulsión gasificable formada por una solución microscópica oxidante dispersa en una fase combustible continua y estabilizada por un emulsificante. (99% emulsión matriz + 1% nitrito)	Agente de voladura de alto nivel de energía con componentes sensibilizantes, producido de la mezcla de ANFO con emulsión matriz. (40% emulsión matriz + 60% nitrato)
Usos	La SAN-G APU® puede ser sensibilizada en las operaciones mineras antes de su carguío en los taladros con la solución gasificante, produciendo una mezcla explosiva de menor densidad, resistente al agua, muy viscosa y de mayor velocidad de detonación que el ANFO.	El ANFO PESADO ha sido diseñado para trabajar en diámetros superiores a 4" como carga de columna en taladros inundados o con abundante agua que no es posible evacuar o donde no se puede cargar en forma mecanizada.
Velocidad de detonación – hasta- (m/s)	5,000 - 5,500	4,200 - 4,500
Presión de detonación (kbar)	95	90
Resistencia al agua	si	Si
Imagen		

Nota: Adaptado de Famesa Explosivos S.A.C.

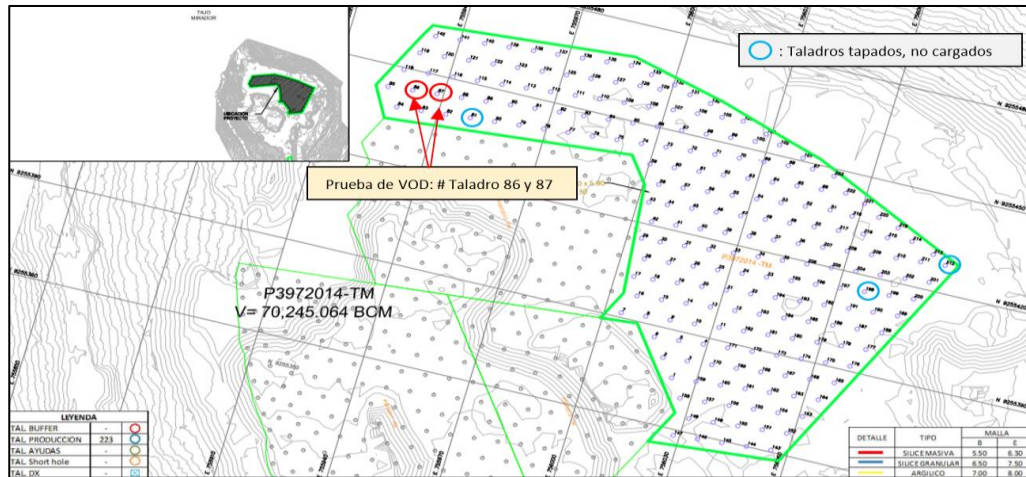
### 3.9.1 Proyecto #1: P 3972 014

El 21 de octubre de 2021 a las 13:29 h se realizó el disparo del Proyecto P 3972 014 malla de producción, con 221 taladros, todo el proyecto fue cargado con SANG APU 100% GASIFICADO. Se disparó con un diseño de salida en “Echelón” y “V” usando secuencia de 7 ms entre taladros y 116 ms entre filas, con el sistema de iniciación electrónica Intellishot 4G. En los taladros 86 y 87 se instrumentó la prueba de VOD, los taladros 212, 198 y 81 no se cargaron por estar tapados. En el taladro 204 se usó doble “Prima” por atrapamiento de la primera “Prima”. En las siguientes imágenes y cuadros se

muestran para el proyecto P 3972 014, el diseño de malla, diseño de carga, velocidad de detonación, variación de la densidad de la mezcla explosiva en campo, control de gases, p80, porcentaje de finos, monitoreo de vibraciones y nivel de ruido.

**Figura 18**

*Diseño de malla de P 3972 014*

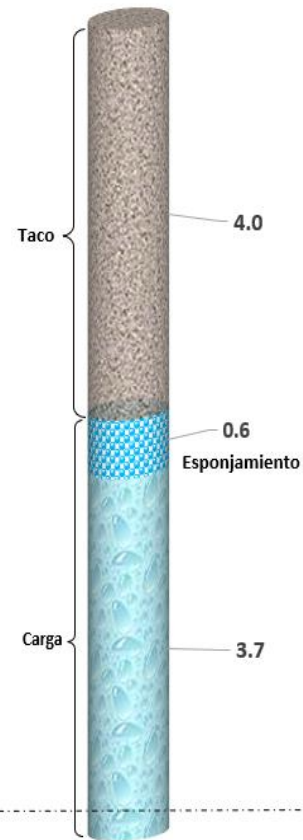


Nota: Elaboración propia

**Tabla 12**

*Diseño de carga del proyecto 3972 014*

DISEÑO DE CARGA		P3972 014
PARAMETROS		SAN-G APU
Burden	m	5.9
Espaciamiento	m	6.8
Altura de Banco	m	8.0
Sobreperforación	m	0.3
Altura Total	m	8.3
Diámetro de Taladro	pulg	7 7/8
Densidad Inicial	gr/cc	1.31
Densidad Final	gr/cc	1.07
Densidad Lineal Inicial	Kg/m	41.2
Densidad Lineal Final	Kg/m	33.6
Taco	m	4.0
Esponjamiento	m	0.6
Longitud de Carga Inicial	m	3.7
Longitud de Carga Final	m	4.3
Aire Deck	m	-
Densidad de la Roca	Ton/m3	2.5
Cantidad de Explosivo	Kg/tal	169
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.24



Nota: Elaboración propia

**Tabla 13**

*Velocidad de detonación del proyecto 3972 014*

ID TALADRO	DIÁMETRO (Pulg)	B (m)	S (m)	PROFUNDIDAD (m)	CARGA (Kg)	INICIO (g/cc)	FINAL (g/cc)	VOD (m/s)
86	7.88	5.9	6.8	7.7	162.0	1.319	1.09	5,585
87	7.88	5.9	6.8	8.1	188.0	1.312	1.09	5,563

Nota: Elaboración propia

**Tabla 14**

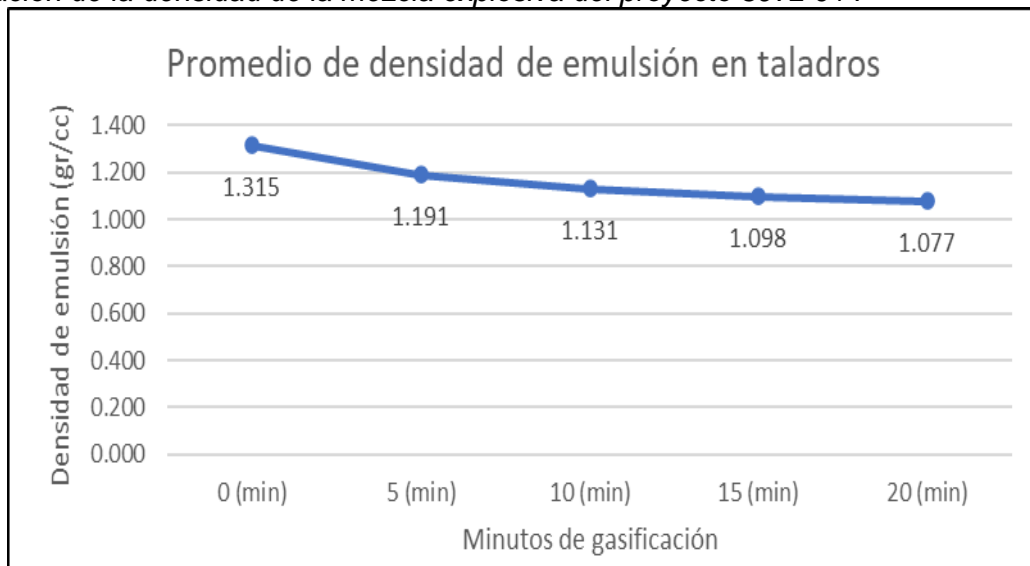
*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3972 014*

Proyecto		P 3972 – 014				
ID Taladro	# 077	# 183	# 193	# 091	# 172	Promedio
0 (min)	1.320	1.309	1.309	1.320	1.317	1.315
5 (min)	1.216	1.122	1.160	1.230	1.228	1.191
10 (min)	1.160	1.044	1.105	1.170	1.176	1.131
15 (min)	1.135	1.031	1.072	1.129	1.124	1.098
20 (min)	1.115	1.012	1.051	1.118	1.090	1.077

Nota: Elaboración propia

**Figura 19**

*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3972 014*








Nota: Elaboración propia

No se evidenciaron gases naranjas ni amarillos

Figura 20

Control de gases del proyecto 3972 014

Level	Typical Appearance
<b>Level 0</b> No NO <sub>x</sub> gas	
<b>Level 1</b> Slight NO <sub>x</sub> gas	
1A Localised	
1B Medium	
1C Extensive	
<b>Level 2</b> Minor yellow/orange gas	
2A Localised	
2B Medium	
2C Extensive	
<b>Level 3</b> Orange gas	
3A Localised	
3B Medium	
3C Extensive	
<b>Level 4</b> Orange/red gas	
4A Localised	
4B Medium	
4C Extensive	
<b>Level 5</b> Red/purple gas	
5A Localised	
5B Medium	
5C Extensive	

Nota: Adaptado de AEISG, 2011, 2<sup>nd</sup> Edition

En el presente cuadro se muestra el P80 (pulgadas), donde el objetivo del p80 para mineral es 4 pulgadas y para desmonte menor a 6 pulgadas. El porcentaje de finos debe ser menor al 20% para cada muestra analizada

**Tabla 15**

*P80 y porcentaje de Finos del proyecto 3972 014*

Fecha de análisis	P10 (in)	P20 (in)	P30 (in)	P40 (in)	P50 (in)	P60 (in)	P70 (in)	P80 (in)	P90 (in)	P100 (in)	Target Size 0.13in (%)	Target Size 4in (%)
25/10/2021	0.16	0.39	0.75	1.18	1.61	2.13	2.72	3.46	4.53	8.19	11.6	74.3
2/11/2021	0.08	0.08	0.24	0.59	1.1	1.81	2.64	3.66	4.92	6.77	27.3	55.9
4/11/2021	0.08	0.12	0.31	0.67	1.18	1.85	2.76	3.90	5.51	9.49	23.5	57.6
5/11/2021	0.08	0.2	0.47	0.91	1.42	2.05	2.8	3.74	5.00	7.91	19.1	63.7

Nota: Elaboración propia

El monitoreo y registro de vibraciones ocasionadas por voladuras, se obtiene haciendo uso de un geófono triaxial, cuya información es registrada en el sismógrafo Instantell Micromate Pro, y se almacena en archivos digitales para su posterior análisis, donde se identifica las frecuencias dominantes, velocidad pico partícula (PPV), amplitud de vibración y frecuencia y tiempos de arribo. Para el presente informe, los resultados que se muestran se basan en la aplicación de la norma nacional vigente “Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas<sup>2</sup>”. El límite establecido según la norma peruana 25.4 mm/s en PPV.

**Tabla 16**

*Monitoreo de vibraciones del proyecto 3972 014*

VOLADURA	PPV (mm/s)			VS (mm/s)	UBICACIÓN	TIPO DE GEÓFONO	DISTANCIA (m)
	TRANS.	VERT.	LOG.				
P3972-014	18.29	15.7	27.3	21.81	CANAL DE CONTENCIÓN	TRIAxIAL	160

Nota: Elaboración propia

**Figura 21**

*Secuencia de voladura del proyecto 3972 014*



Nota: Elaboración propia

<sup>2</sup> Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas, ver tabla en los anexos



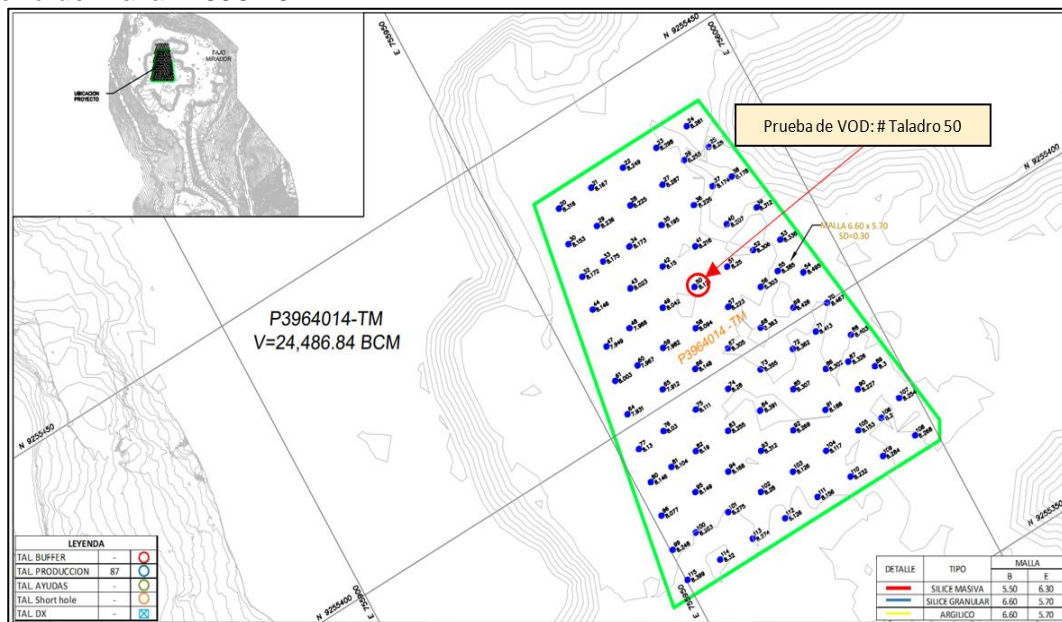
### 3.9.2 Proyecto #2: P 3964 014

El 31 de octubre de 2021 a las 12:23 hrs se realizó el disparo del proyecto 3964 014 malla de producción, con un total de 87 taladros, en el taladro #50 se instrumentó la prueba de VOD. Todo el proyecto fue cargado con SAN-G APU y se disparó con un diseño de salida en “DIAMANTE” usando secuencia de 7 ms entre taladros y 116 ms entre filas, con el sistema de iniciación electrónica Intellishot 4G. Se apreció buena fragmentación superficial, en la prueba realizada con SAN-G- APU con densidad final de 0.92gr/cc. No se apreció humos en la voladura.

En las siguientes imágenes y cuadros se muestran para el proyecto P 3964 014, el diseño de malla, diseño de carga, velocidad de detonación, variación de la densidad de la mezcla explosiva en campo, control de gases, p80, porcentaje de finos, monitoreo de vibraciones y nivel de ruido.

**Figura 22**

*Diseño de Malla P 3964 014*

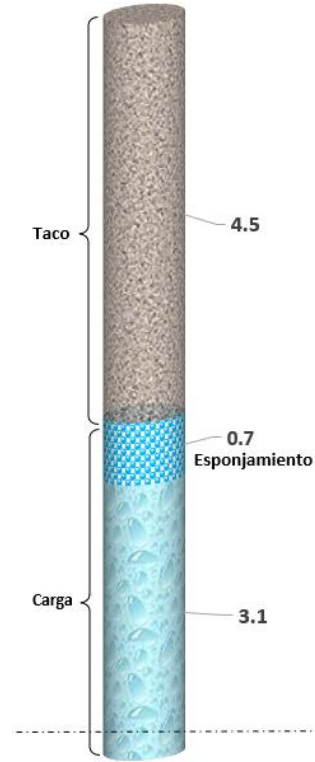


Nota: Elaboración propia

**Tabla 17**

*Diseño de carga P 3964 014*

DISEÑO DE CARGA		P3964 014	
PARAMETROS		SAN-G APU	
Burden	m	5.7	
Espaciamiento	m	6.6	
Altura de Banco	m	8.0	
Sobreperforación	m	0.3	
Altura Total	m	8.3	
Diámetro de Taladro	pulg	7 7/8	
Densidad Inicial	gr/cc	1.31	
Densidad Final	gr/cc	0.92	
Densidad Lineal Inicial	Kg/m	41.2	
Densidad Lineal Final	Kg/m	28.9	
Taco	m	4.5	
Esponjamiento	m	0.7	
Longitud de Carga Inicial	m	3.1	
Longitud de Carga Final	m	3.8	
Aire Deck	m	-	
Densidad de la Roca	Ton/m3	2.5	
Cantidad de Explosivo	Kg/tal	128	
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.18	



Nota: Elaboración propia

**Tabla 18**

*Velocidad de Detonación del proyecto P 3964 014*

ID TALADRO	DIÁMETRO (Pulg)	B (m)	S (m)	PROFUNDIDAD (m)	CARGA (Kg)	INICIO (g/cc)	FINAL (g/cc)	VOD (m/s)
50	7 7/8	5.7	6.6	8.1	116.0	1.31	0.91	4,668

Nota: Elaboración propia

**Tabla 19**

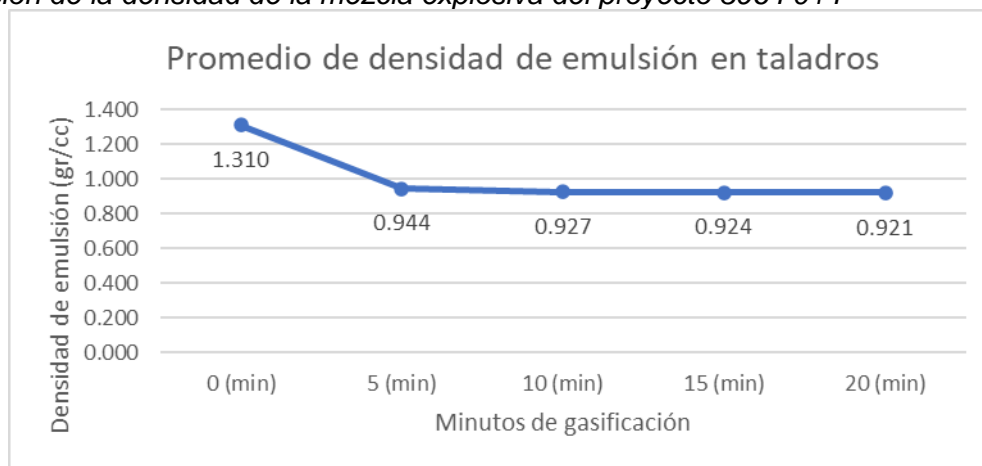
*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto P3964 014*

Proyecto		P 3964 014				
	ID Taladro	# 085	# 066	# 086	# 055	Promedio
Minutos de gasificación	0 (min)	1.310	1.312	1.301	1.316	1.310
	5 (min)	0.950	0.929	0.959	0.937	0.944
	10 (min)	0.930	0.917	0.948	0.914	0.927
	15 (min)	0.933	0.913	0.935	0.913	0.924
	20 (min)	0.931	0.911	0.932	0.910	0.921

Nota: Elaboración propia

**Figura 23**

*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3964 014*








Nota: Elaboración propia

No se evidenciaron gases naranjas ni amarillos

**Figura 24**

Control de gases del proyecto 3964 014

Level	Typical Appearance
Level 0 No NOx gas	
Level 1 Slight NOx gas	
1A Localised	
1B Medium	
1C Extensive	
Level 2 Minor yellow/orange gas	
2A Localised	
2B Medium	
2C Extensive	
Level 3 Orange gas	
3A Localised	
3B Medium	
3C Extensive	
Level 4 Orange/red gas	
4A Localised	
4B Medium	
4C Extensive	
Level 5 Red/purple gas	
5A Localised	
5B Medium	
5C Extensive	

Nota: Adaptado de Fuente AEISG, 2011, 2nd Edition

En el presente cuadro se muestra el P80 (pulgadas), donde el objetivo del p80 para mineral es 4 pulgadas y para desmonte 6 pulgadas. El porcentaje de finos debe ser menor al 20% para cada muestra analizada.

**Tabla 20**

*P80 y % de Finos del proyecto 3964 - 014*

Fecha de análisis	P10 (in)	P20 (in)	P30 (in)	P40 (in)	P50 (in)	P60 (in)	P70 (in)	P80 (in)	P90 (in)	P100 (in)	Target Size 0.13in (%)	Target Size 4in (%)
22/11/2021	0.0	0.3	0.6	1.1	1.6	2.2	2.8	3.6	4.6	6.97	14.9	69.4
22/11/2021	0.0	0.1	0.3	0.6	1.2	2.0	2.9	4.0	5.4	7.99	24.9	55.2
23/11/2021	0.0	0.1	0.3	0.5	0.9	1.4	1.9	2.6	3.6	6.10	22.7	70.2

Nota: Elaboración propia

El monitoreo y registro de vibraciones ocasionadas por voladuras, se obtiene haciendo uso de un geófono triaxial, cuya información es registrada en el sismógrafo Instantell Micromate Pro, y se almacena en archivos digitales para su posterior análisis, donde se identifica las frecuencias dominantes, velocidad pico partícula (PPV), amplitud de vibración y frecuencia y tiempos de arribo. Para el presente informe, los resultados que se muestran se basan en la aplicación de la norma nacional vigente “Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas<sup>3</sup>”. El límite establecido según la norma peruana 25.4 mm/s en PPV.

**Tabla 21**

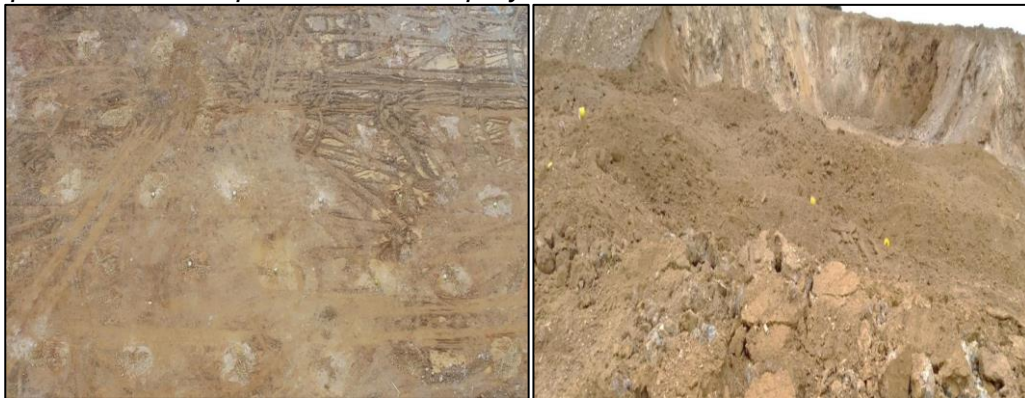
*Monitoreo de vibraciones del proyecto 3964 014*

VOLADURA	PPV (mm/s)			VS (mm/s)	UBICACIÓN	TIPO DE GEÓFONO	DISTANCIA (m)
	TRANS.	VERT.	LOG.				
P3964-014	2.02	1.49	3.29	3.52	CAMP. MIRADOR	TRIAxIAL	450

*Nota:* Elaboración propia

**Figura 25**

*Pre y post voladura respectivamente del proyecto 3964 014*



*Nota:* Elaboración propia

### **3.9.3 Proyecto #3: P 3956 003**

El 29 de diciembre de 2021 a las 12:29 hrs se realizó el disparo del Proyecto P3956 003 malla de producción, con un total de 109 taladros. En el taladro #37 se instrumentó la

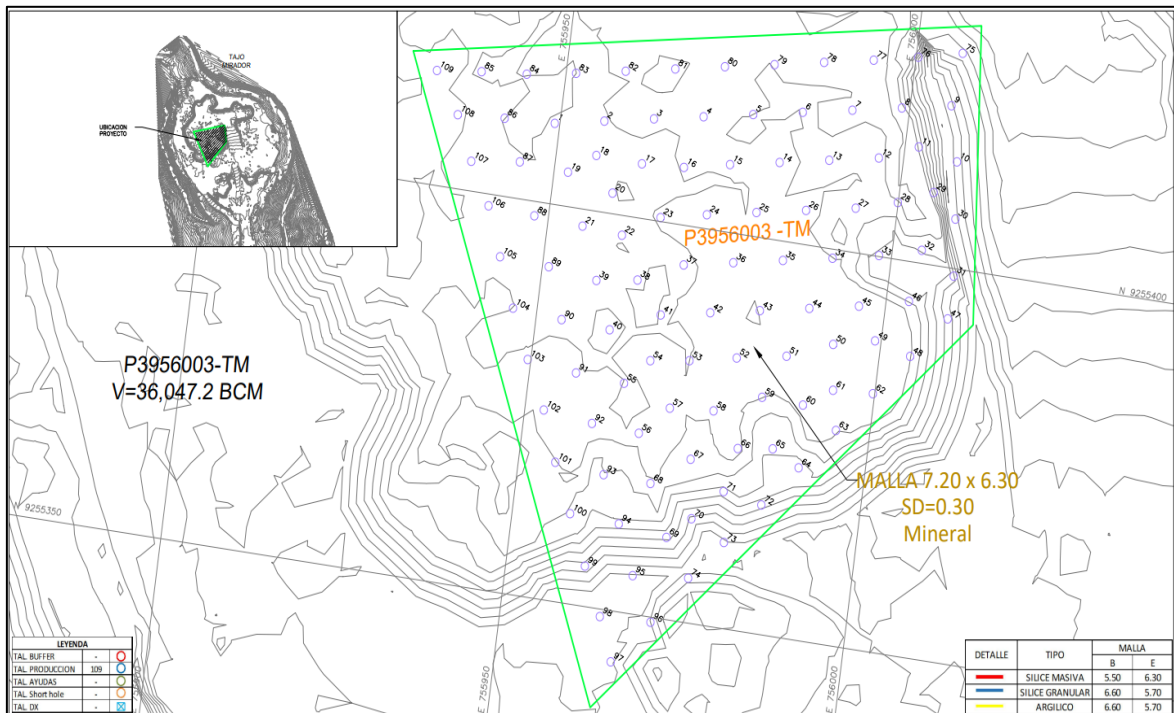
<sup>3</sup> Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas, ver tabla en los anexos

prueba de VOD. Todos los taladros fueron cargado con SANG APU 100% GASIFICADO y se disparó con un diseño de salida en “DIAMANTE” usando secuencia de 9 ms entre taladros y 130 ms entre filas, con el sistema de iniciación electrónica Intellishot 4G. Se aprecia buena fragmentación superficial y no se aprecia humos en la voladura. Se monitoreó en el Canal de Colección, sin embargo, la vibración de la voladura no activó al sismógrafo (Vibración por debajo del trigger, 0.250 mm/s).

En las siguientes imágenes y cuadros se muestran para el proyecto P 3956 003, el diseño de malla, diseño de carga, velocidad de detonación, variación de la densidad de la mezcla explosiva en campo, control de gases, p80, porcentaje de finos, monitoreo de vibraciones y nivel de ruido.

**Figura 26**

*Diseño de malla P 3956 003*

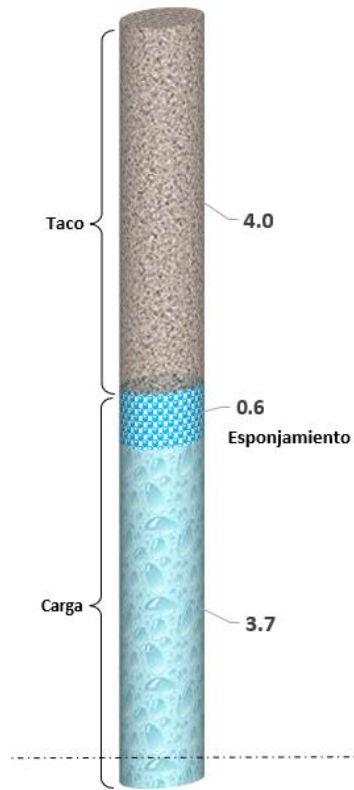


Nota: Elaboración propia

**Tabla 22**

*Velocidad de Detonación del proyecto P 3956 003*

DISEÑO DE CARGA		P 3956 003	
PARAMETROS		SAN-G APU	
Burden	m	6.3	
Espaciamiento	m	7.2	
Altura de Banco	m	8.0	
Sobreperforación	m	0.3	
Altura Total	m	8.3	
Diámetro de Taladro	pulg	7 7/8	
Densidad Inicial	gr/cc	1.31	
Densidad Final	gr/cc	1.00	
Densidad Lineal Inicial	Kg/m	41.2	
Densidad Lineal Final	Kg/m	31.4	
Taco	m	4.0	
Esponjamiento	m	0.6	
Longitud de Carga Inicial	m	3.7	
Longitud de Carga Final	m	4.3	
Aire Deck	m	-	
Densidad de la Roca	Ton/m3	2.5	
Cantidad de Explosivo	Kg/tal	152	
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.19	



Nota: Elaboración propia

**Tabla 23**

*Velocidad de Detonación del proyecto P 3956 003*

ID TALADRO	DIÁMETRO (Pulg)	B (m)	S (m)	PROFUNDIDAD (m)	CARGA (Kg)	INICIO (g/cc)	FINAL (g/cc)	VOD (m/s)
37	7 7/8	6.3	7.2	8.0	144.0	1.31	1.02	5218

Nota: Elaboración propia

**Tabla 24**

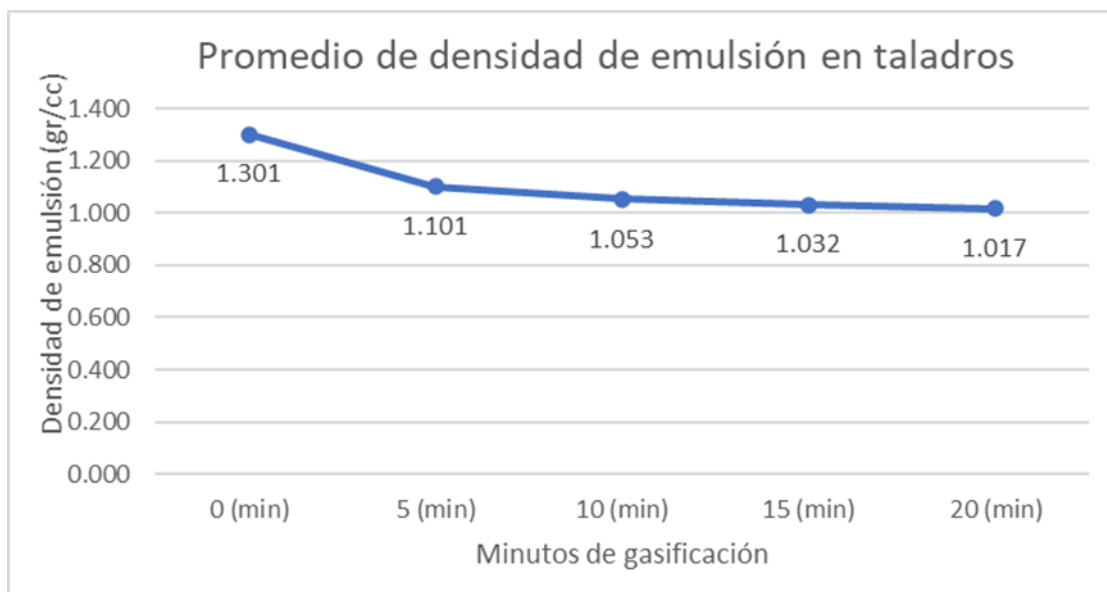
*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto P3956 003*

	Proyecto		P 3956 003			
	ID Taladro	# 033	# 032	# 036	# 037	Promedio
Minutos de gasificación	0 (min)	1.290	1.285	1.320	1.310	1.301
	5 (min)	1.129	1.076	1.117	1.080	1.101
	10 (min)	1.063	1.025	1.067	1.055	1.053
	15 (min)	1.037	1.019	1.032	1.038	1.032
	20 (min)	1.021	1.008	1.017	1.021	1.017

Nota: Elaboración propia

**Figura 27**

*Variación de la densidad de la mezcla explosiva del proyecto 3956 003*








Nota: Elaboración propia

No se evidenciaron gases naranjas ni amarillos



**Figura 28**

*Control de gases del proyecto 3964 014*

Level	Typical Appearance
<b>Level 0</b> No NOx gas	
<b>Level 1</b> Slight NOx gas	
1A Localised	
1B Medium	
1C Extensive	
<b>Level 2</b> Minor yellow/orange gas	
2A Localised	
2B Medium	
2C Extensive	
<b>Level 3</b> Orange gas	
3A Localised	
3B Medium	
3C Extensive	
<b>Level 4</b> Orange/red gas	
4A Localised	
4B Medium	
4C Extensive	
<b>Level 5</b> Red/purple gas	
5A Localised	
5B Medium	
5C Extensive	

Nota: Adaptado de AEISG, 2011, 2nd Edition

En el presente cuadro se muestra el P80 (pulgadas), donde el objetivo del p80 para mineral es 4 pulgadas y para desmonte 6 pulgadas. El porcentaje de finos debe ser menor al 20% para cada muestra analizada

**Tabla 25***P80 y % de Finos del proyecto 3956 003*

Fecha de análisis	P10 (in)	P20 (in)	P30 (in)	P40 (in)	P50 (in)	P60 (in)	P70 (in)	P80 (in)	P90 (in)	P100 (in)	Target Size 0.13in (%)	Target Size 4in (%)
3/01/2022	0.08	0.12	0.28	0.63	1.06	1.65	2.32	3.11	4.13	5.91	24.7	64.5
4/01/2022	0.08	0.2	0.47	0.83	1.26	1.73	2.28	2.91	3.78	5.55	18.4	74.0
5/01/2022	0.08	0.24	0.51	0.87	1.3	1.81	2.4	3.11	4.09	6.65	17.1	72.3
7/01/2022	0.08	0.08	0.2	0.47	0.87	1.46	2.28	3.43	5.08	9.29	28.2	56.0
10/01/2022	0.08	0.2	0.43	0.79	1.26	1.81	2.48	3.35	4.57	7.99	19.2	66.9
15/01/2022	0.08	0.24	0.55	0.98	1.46	2.05	2.72	3.54	4.65	7.28	16.8	68.2
18/01/2022	0.2	0.59	0.98	1.46	1.89	2.4	2.95	3.58	4.45	7.01	9.0	76.6
19/01/2022	0.12	0.35	0.71	1.06	1.46	1.93	2.4	2.99	3.78	5.83	12.7	79.8

*Nota:* Elaboración propia

El monitoreo y registro de vibraciones ocasionadas por voladuras, se obtiene haciendo uso de un geófono triaxial, cuya información es registrada en el sismógrafo Instantell Micromate Pro, y se almacena en archivos digitales para su posterior análisis, donde se identifica las frecuencias dominantes, velocidad pico partícula (PPV), amplitud de vibración y frecuencia y tiempos de arribo. Para el presente informe, los resultados que se muestran se basan en la aplicación de la norma nacional vigente “Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas<sup>4</sup>”. El límite establecido según la norma peruana 25.4 mm/s en PPV.

**Tabla 26***Monitoreo de vibraciones del proyecto 3956 003*

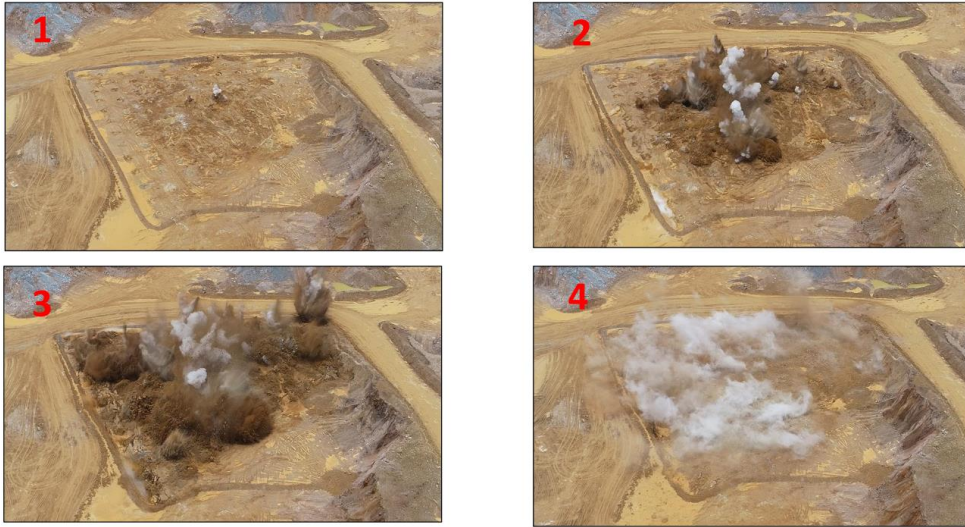
VOLADURA	PPV (mm/s)			VS (mm/s)	UBICACIÓN	TIPO DE GEÓFONO	DISTANCIA (m)
	TRANS.	VERT.	LOG.				
P3956-003	13.78	10.47	13.73	14.82	CANAL DE CONTENCIÓN	TRIAXIAL	300

*Nota:* Elaboración propia

<sup>4</sup> Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras del Ministerio de Energía y Minas, ver tabla en los anexos

## Figura 29

Secuencia de detonación del proyecto 3956 003



Nota: Elaboración propia

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Análisis técnico de resultados

Los resultados operativos de los 3 proyectos utilizando SANG APU 100% GAS se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 27**

*Comparación de los 3 proyectos analizados*

DATOS	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3
Proyecto	P 3972 - 014	P 3964 – 014	P 3956 – 003
# taladros	221	87	109
Diseño de secuencia	V	DIAMANTE	DIAMANTE
Diámetro de taladro (pulg)	7 7/8	7 7/8	7 7/8
Burden - B (m)	5.9	5.7	6.3
Espaciamiento - E (m)	6.8	6.6	7.2
Subdrilling - SD (m)	0.3	0.3	0.3
Altura de banco (m)	8	8	8
Densidad Inicial de Explosivo (gr/cc)	1.31	1.31	1.31
Densidad Final de Explosivo (gr/cc)	1.07	0.92	0.98
Esponjamiento (m)	0.6	0.7	0.6
Cantidad de Explosivo (Kg/Tal)	169	128	152
Factor de potencia (Kg/tn)	0.24	0.18	0.19
Velocidad de detonación - VOD (m/s)	5,574	4,668	5,218
Fragmentación – p80	3.69	3.45	3.25
Porcentaje de finos (%)	20.375	20.83	18.26
Presencia de humos	No	No	No
Control de vibraciones (PPV mm/s)	Por debajo del límite	Por debajo del límite	Por debajo del límite

*Nota:* Elaboración propia

## 4.2 Análisis económico de resultados

### 4.2.1 Costos de explosivos

Los costos considerados para el presente estudio abarcaron las mezclas explosivas, accesorios de voladura, costos de perforación y voladura, se muestran en el siguiente cuadro:

**Tabla 28**

*Cuadro de costos de explosivos (Set 21-Jul 22)*

Descripción	US\$/uni	USD\$
Nitrato de Amonio (Prillex)	US\$/Kg	0.582
Emulsión Matriz (Famesa)	US\$/kg	0.575
Petróleo D2	US\$/gl	2.5
San-G APU	US\$/kg	0.4565
1 kg D2	0.321	Galones
N-30	US\$/kg	1.0570
Booster 1Lb	\$/Pza	3.1110
Fanel 12.0 m - 1.1B	Pza.	1.6040
Detonador electrónico Intellishot 15.0m	Pza.	18.0900
Cable Jumper AWG 2 x 22	m	0.2350
Cordón detonante 5P	m	0.1570
Perforación (octubre, E: 6,6m)	\$/m	8.1100
Perforación (diciembre, E: 7.2m)	\$/m	8.2900
Voladura (octubre)	\$/BCM	0.0950
Voladura (diciembre)	\$/BCM	0.0950

Nota: Elaboración propia

### 4.2.2 Cuadro comparativo de los 3 proyectos analizados.

Se realizó el análisis de resultados de los proyectos 1 y 2, donde para el proyecto 2, si bien hay una disminución del factor de potencia, la carga explosiva no se distribuyó adecuadamente a lo largo del taladro y no se aprovechó el poder rompedor para fracturar el macizo rocoso, a pesar de tener la malla más reducida que el proyecto 1.

El proyecto 3 se llevó a cabo con una malla ampliada a comparación al proyecto 1 y 2, donde además se aprovechó el esponjamiento del explosivo a lo largo de todo el taladro, logrando una correcta distribución de carga explosiva a lo largo del taladro, para

de esta manera al detonar liberar la energía entre los taladros de manera uniforme, aprovechando el elevado VOD de la emulsión SANG APU 100% GAS en los taladros de malla ampliada.

Entonces el proyecto 3, arroja los resultados adecuados en cuanto a un menor factor de potencia, control de finos menor al 20% y p80 con 4", además, al tener una malla ampliada, tiene menos taladros, realizándose menos metros perforados, lo que se traduce en un ahorro, cumpliendo con los indicadores evaluados y necesarios para mejorar la fragmentación. En el presente cuadro se muestran un comparativo de costos para los 3 proyectos analizados.

**Tabla 29***Comparación económica de los 3 proyectos*

Parámetro	Unidad	PROYECTO 1	PROYECTO 2	PROYECTO 3
		P3972-014	P3964-014	P3956-003
Burden - B	m	5.9	5.7	6.3
Espaciamiento - E	m	6.8	6.6	7.2
Subdrilling - SD	m	0.3	0.3	0.3
Altura de banco	m	8	8	8
Altura total	m	8.3	8.3	8.3
# taladros	#	221	87	109
Metros perforados	m	1,834	722	905
Toneladas rotas reales	t	157,803	55,214	80,851
Densidad	gr/cc	2.53	2.53	2.53
BCM /metros perforados	BCM/m	34.0	30.2	35.3
BCM	BCM	62,373	21,824	31,957
Carga explosiva	Kg/tal	169	128	152
Consumo de emulsión	kg	37,920	9,942	15,174
Consumo de N30	kg	379.2	100	153
Consumo de Nitrato de Amonio	kg	*	*	*
Consumo de Diesel	gl	*	*	*
Factor de potencia	Kg/t	0.24	0.18	0.19
Explosivos	\$	17,711	4,644	7,089
Accesorios (Booster + Fanel + Intellishot + Cable Jumper)	\$	5,228	2,172	2,674
Voladura	\$	5,925	2,073	3,036
Costo de Voladura	\$	28,865	8,890	12,798
Costo de Perforación	\$	14,876	5,856	7,500
Costo Total (P&V)	\$	43,741	14,746	20,298
Costo (PU)	\$/BCM	0.70	0.68	0.64

*Nota:* Elaboración propia

En la evaluación de costos de los proyectos 1,2 y 3, se obtiene menor costo con el proyecto 3, 0.64 \$/BCM, esto debido a la ampliación de malla y a la correcta distribución de explosivo a lo largo del taladro.

#### 4.3 Formulación de la hipótesis nula ( $H_0$ )

En estadística, una hipótesis es una suposición acerca de algo que se trabaja como una afirmación de hechos que podrían ocurrir en la población bajo estudio. Se emplea la hipótesis nula como la afirmación contraria a la hipótesis formulada, que se conoce como

hipótesis alternativa. Para investigar un parámetro específico de la población, primero se plantea la hipótesis alternativa y, para determinar su validez, se examina su opuesto (hipótesis nula); si se logra demostrar que esta última es incorrecta, se confirma la primera.

Se establece la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), para comprobar la hipótesis alternativa, se tiene que demostrar la falsedad de la hipótesis nula.

$$H_0 \rightarrow \mu \neq 4''$$

$$H_1 \rightarrow \mu = 4''$$

$\mu$ : Promedio de p80 con SAN G

Analizando el p80, para calcular la región de probabilidad normal (z):  $P(x < 4'')$

**Tabla 30**

*Estadística descriptiva de p80 de ambos explosivos*

P80 (in)	HA46	SAN G
Media ( $\mu_0$ )	5.26	3.39
Desviación estándar ( $\sigma$ )	0.77	0.71
Cuenta	58	63

Nota: Elaboración propia

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma} \quad (16)$$



Figura 30

Distribución Normal Standard I

STANDARD NORMAL DISTRIBUTION: Table Values Represent AREA to the LEFT of the Z score.										
Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.9	.00005	.00005	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00003	.00003
-3.8	.00007	.00007	.00007	.00006	.00006	.00006	.00006	.00005	.00005	.00005
-3.7	.00011	.00010	.00010	.00010	.00009	.00009	.00008	.00008	.00008	.00008
-3.6	.00016	.00015	.00015	.00014	.00014	.00013	.00013	.00012	.00012	.00011
-3.5	.00023	.00022	.00022	.00021	.00020	.00019	.00019	.00018	.00017	.00017
-3.4	.00034	.00032	.00031	.00030	.00029	.00028	.00027	.00026	.00025	.00024
-3.3	.00048	.00047	.00045	.00043	.00042	.00040	.00039	.00038	.00036	.00035
-3.2	.00069	.00066	.00064	.00062	.00060	.00058	.00056	.00054	.00052	.00050
-3.1	.00097	.00094	.00090	.00087	.00084	.00082	.00079	.00076	.00074	.00071
-3.0	.00135	.00131	.00126	.00122	.00118	.00114	.00111	.00107	.00104	.00100
-2.9	.00187	.00181	.00175	.00169	.00164	.00159	.00154	.00149	.00144	.00139
-2.8	.00256	.00248	.00240	.00233	.00226	.00219	.00212	.00205	.00199	.00193
-2.7	.00347	.00336	.00326	.00317	.00307	.00298	.00289	.00280	.00272	.00264
-2.6	.00466	.00453	.00440	.00427	.00415	.00402	.00391	.00379	.00368	.00357
-2.5	.00621	.00604	.00587	.00570	.00554	.00539	.00523	.00508	.00494	.00480
-2.4	.00820	.00798	.00776	.00755	.00734	.00714	.00695	.00676	.00657	.00639
-2.3	.01072	.01044	.01017	.00990	.00964	.00939	.00914	.00889	.00866	.00842
-2.2	.01390	.01355	.01321	.01287	.01255	.01222	.01191	.01160	.01130	.01101
-2.1	.01786	.01743	.01700	.01659	.01618	.01578	.01539	.01500	.01463	.01426
-2.0	.02275	.02222	.02169	.02118	.02068	.02018	.01970	.01923	.01876	.01831
-1.9	.02872	.02807	.02743	.02680	.02619	.02559	.02500	.02442	.02385	.02330
-1.8	.03593	.03515	.03438	.03362	.03288	.03216	.03144	.03074	.03005	.02938
-1.7	.04457	.04363	.04272	.04182	.04093	.04006	.03920	.03836	.03754	.03673
-1.6	.05480	.05370	.05262	.05155	.05050	.04947	.04846	.04746	.04648	.04551
-1.5	.06681	.06552	.06426	.06301	.06178	.06057	.05938	.05821	.05705	.05592
-1.4	.08076	.07927	.07780	.07636	.07493	.07353	.07215	.07078	.06944	.06811
-1.3	.09680	.09510	.09342	.09176	.09012	.08851	.08691	.08534	.08379	.08226
-1.2	.11507	.11314	.11123	.10935	.10749	.10565	.10383	.10204	.10027	.09853
-1.1	.13567	.13350	.13136	.12924	.12714	.12507	.12302	.12100	.11900	.11702
-1.0	.15866	.15625	.15386	.15151	.14917	.14686	.14457	.14231	.14007	.13786

STANDARD NORMAL DISTRIBUTION: Table Values Represent AREA to the LEFT of the Z score.										
Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.50000	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
0.1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
0.2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61026	.61409
0.3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
0.4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793
0.5	.69146	.69497	.69847	.70194	.70540	.70884	.71226	.71566	.71904	.72240
0.6	.72575	.72907	.73237	.73565	.73891	.74215	.74537	.74857	.75175	.75490
0.7	.75804	.76115	.76424	.76730	.77035	.77337	.77637	.77935	.78230	.78524
0.8	.78814	.79103	.79389	.79673	.79955	.80234	.80511	.80785	.81057	.81327
0.9	.81594	.81859	.82121	.82381	.82639	.82894	.83147	.83398	.83646	.83891
1.0	.84134	.84375	.84614	.84849	.85083	.85314	.85543	.85769	.85993	.86214
1.1	.86433	.86650	.86864	.87076	.87286	.87493	.87698	.87900	.88100	.88298
1.2	.88493	.88686	.88877	.89065	.89251	.89435	.89617	.89796	.89973	.90147
1.3	.90320	.90490	.90658	.90824	.90988	.91149	.91309	.91466	.91621	.91774
1.4	.91924	.92073	.92220	.92364	.92507	.92647	.92785	.92922	.93056	.93189

Nota: Fuente (<https://www.math.arizona.edu/~rsims/ma464/standardnormaltable.pdf>)

Para obtener la probabilidad del p80 se utiliza la Tabla de Distribución Normal Standard

**Tabla 31**

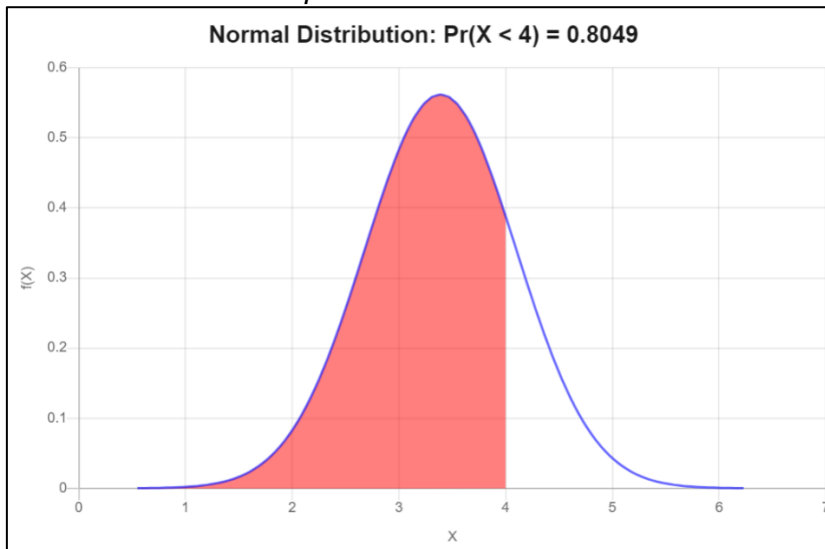
*Probabilidad de p80 de ambos explosivos*

P80 (in)	HA46	SAN G
Z	-1.64	0.86
Probabilidad	5%	80%

Nota: Elaboración propia

**Figura 31**

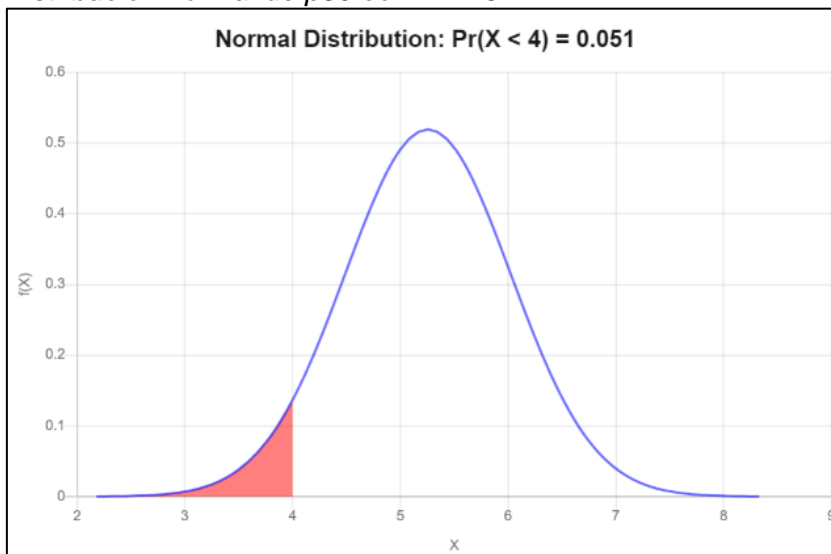
*Distribución normal de p80 con SAN G*



Nota: Elaboración propia

**Figura 32**

*Distribución normal de p80 con HA 46*



Nota: Elaboración propia

Se establece la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), para comprobar la hipótesis alternativa, se tiene que demostrar la falsedad de la hipótesis nula.

$$H_0 \rightarrow \mu \neq 20\%$$

$$H_1 \rightarrow \mu = 20\%$$

$\mu$ : Promedio de %finos con SAN G

Analizando el porcentaje de finos, para calcular la región de probabilidad normal (z):  $P(x < 20\%)$ .

**Tabla 32**

*Estadística descriptiva de porcentaje de finos de ambos explosivos*

<b>%Finos (%)</b>	<b>HA46</b>	<b>SAN G</b>
Media ( $\mu_0$ )	33.15	18.48
Desviación estándar ( $\sigma$ )	7.97	4.24
Cuenta	58	63

Nota: Elaboración propia

$$z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma} \quad (17)$$

Figura 33

Distribución Normal Standard II

STANDARD NORMAL DISTRIBUTION: Table Values Represent AREA to the LEFT of the Z score.										
Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.9	.00005	.00005	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00003	.00003
-3.8	.00007	.00007	.00007	.00006	.00006	.00006	.00006	.00005	.00005	.00005
-3.7	.00011	.00010	.00010	.00010	.00009	.00009	.00008	.00008	.00008	.00008
-3.6	.00016	.00015	.00015	.00014	.00014	.00013	.00013	.00012	.00012	.00011
-3.5	.00023	.00022	.00022	.00021	.00020	.00019	.00019	.00018	.00017	.00017
-3.4	.00034	.00032	.00031	.00030	.00029	.00028	.00027	.00026	.00025	.00024
-3.3	.00048	.00047	.00045	.00043	.00042	.00040	.00039	.00038	.00036	.00035
-3.2	.00069	.00066	.00064	.00062	.00060	.00058	.00056	.00054	.00052	.00050
-3.1	.00097	.00094	.00090	.00087	.00084	.00082	.00079	.00076	.00074	.00071
-3.0	.00135	.00131	.00126	.00122	.00118	.00114	.00111	.00107	.00104	.00100
-2.9	.00187	.00181	.00175	.00169	.00164	.00159	.00154	.00149	.00144	.00139
-2.8	.00256	.00248	.00240	.00233	.00226	.00219	.00212	.00205	.00199	.00193
-2.7	.00347	.00336	.00326	.00317	.00307	.00298	.00289	.00280	.00272	.00264
-2.6	.00466	.00453	.00440	.00427	.00415	.00402	.00391	.00379	.00368	.00357
-2.5	.00621	.00604	.00587	.00570	.00554	.00539	.00523	.00508	.00494	.00480
-2.4	.00820	.00798	.00776	.00755	.00734	.00714	.00695	.00676	.00657	.00639
-2.3	.01072	.01044	.01017	.00990	.00964	.00939	.00914	.00889	.00866	.00842
-2.2	.01390	.01355	.01321	.01287	.01255	.01222	.01191	.01160	.01130	.01101
-2.1	.01786	.01743	.01700	.01659	.01618	.01578	.01539	.01500	.01463	.01426
-2.0	.02275	.02222	.02169	.02118	.02068	.02018	.01970	.01923	.01876	.01831
-1.9	.02872	.02807	.02743	.02680	.02619	.02559	.02500	.02442	.02385	.02330
-1.8	.03593	.03515	.03438	.03362	.03288	.03216	.03144	.03074	.03005	.02938
-1.7	.04457	.04363	.04272	.04182	.04093	.04006	.03920	.03836	.03754	.03673
-1.6	.05480	.05370	.05262	.05155	.05050	.04947	.04846	.04746	.04648	.04551
-1.5	.06681	.06552	.06426	.06301	.06178	.06057	.05938	.05821	.05705	.05592
-1.4	.08076	.07927	.07780	.07636	.07493	.07353	.07215	.07078	.06944	.06811
-1.3	.09680	.09510	.09342	.09176	.09012	.08851	.08691	.08534	.08379	.08226
-1.2	.11507	.11314	.11123	.10935	.10749	.10565	.10383	.10204	.10027	.09853
-1.1	.13567	.13350	.13136	.12924	.12714	.12507	.12302	.12100	.11900	.11702
-1.0	.15866	.15625	.15386	.15151	.14917	.14686	.14457	.14231	.14007	.13786

STANDARD NORMAL DISTRIBUTION: Table Values Represent AREA to the LEFT of the Z score.										
Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.50000	.50399	.50798	.51197	.51595	.51994	.52392	.52790	.53188	.53586
0.1	.53983	.54380	.54776	.55172	.55567	.55962	.56356	.56749	.57142	.57535
0.2	.57926	.58317	.58706	.59095	.59483	.59871	.60257	.60642	.61026	.61409
0.3	.61791	.62172	.62552	.62930	.63307	.63683	.64058	.64431	.64803	.65173
0.4	.65542	.65910	.66276	.66640	.67003	.67364	.67724	.68082	.68439	.68793

Nota: Fuente (<https://www.math.arizona.edu/~rsims/ma464/standardnormaltable.pdf>)

Para obtener la probabilidad del porcentaje de finos se utiliza la Tabla de Distribución Normal Standard

Tabla 33

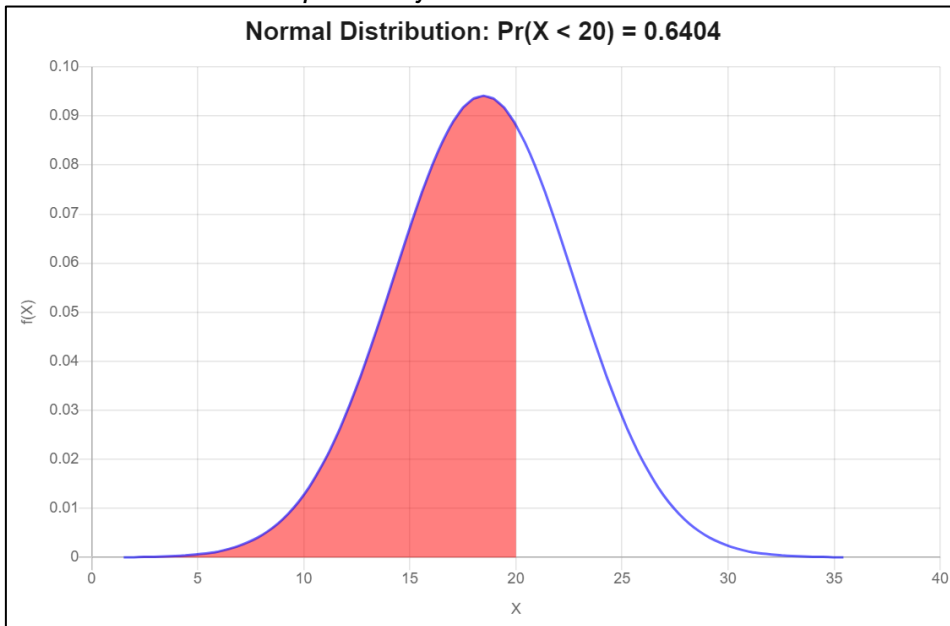
Probabilidad de porcentaje de finos de ambos explosivos

%Finos (%)	HA46	SAN G
z	-1.65	0.36
Probabilidad	5%	64%

Nota: Elaboración propia

**Figura 34**

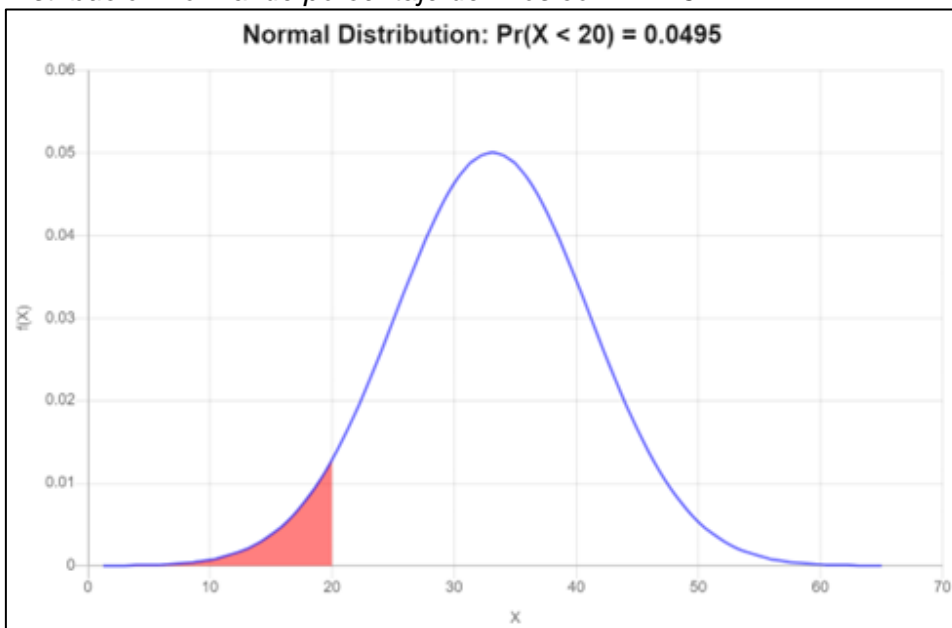
*Distribución normal de porcentaje de finos con SAN G*



Nota: Elaboración propia

**Figura 35**

*Distribución normal de porcentaje de finos con HA 46*



Nota: Elaboración propia

**Tabla 34**

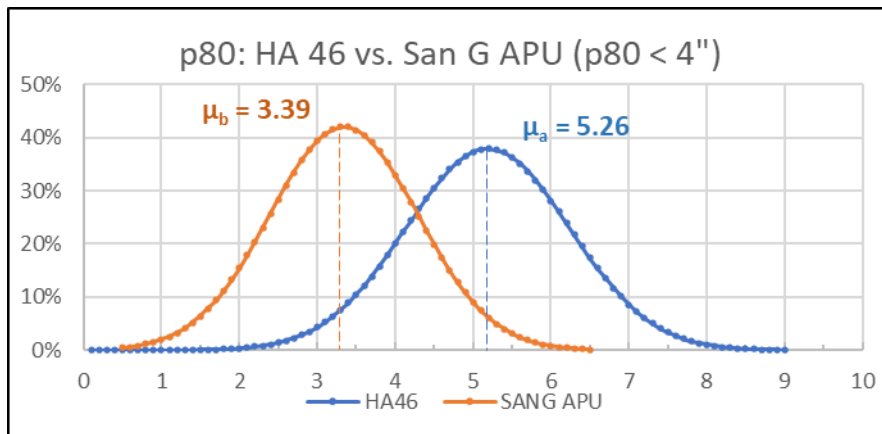
*Parámetros de cada explosivo*

Parámetros	Heavy Anfo 46	SANG APU
<i>Para el p80</i>		
n	58	63
$\mu$	5.26	3.39
$\sigma$	0.77	0.71
Z	-1.64	0.86
P (x < 4")	5%	85%
<i>Para el porcentaje de finos</i>		
n	58	63
$\mu$	33.15	18.48
$\sigma$	7.97	4.24
Z	-1.65	0.36
P (x < 20%)	5%	64%

Nota: Elaboración propia

**Figura 36**

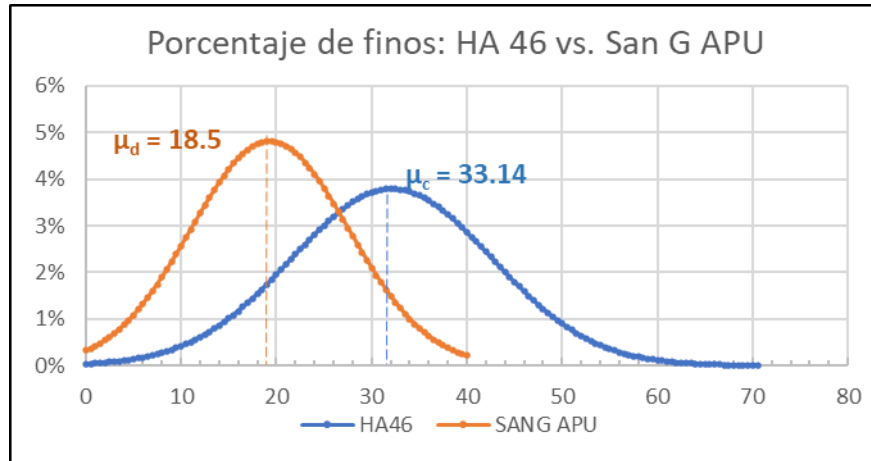
*Distribución normal del p80 con ambos explosivos*



Nota: Elaboración propia

**Figura 37**

*Distribución normal del porcentaje de finos con ambos explosivos*



Nota: Elaboración propia

Finalmente,  $H_0$ : Falso

$H_1$ : Verdadero

Se corrobora la negación de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la veracidad de la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

#### 4.4 Contrastación de la hipótesis

En el siguiente cuadro se muestra la Comparación de resultados utilizando la emulsión SAN G APU vs. HA46. Periodo de evaluación: Setiembre 2021 – Marzo 2022

**Tabla 35**

*Comparación de resultados utilizando SAN G APU vs. HA46*

Parámetro	Unidad	SAN G APU	
		100%GAS	HA46
		P3956-003	P3980-010
Burden - B	m	6.3	5.7
Espaciamiento - E	m	7.2	6.6
Subdrilling - SD	m	0.3	0.3
Altura de banco	m	8.0	8.0
Altura total	m	8.3	8.3
# taladros	#	109	125
Metros perforados	m	905	1,038
Toneladas rotas reales	t	80,851	75,957
Densidad	gr/cc	2.5	2.5
BCM /metros perforados	BCM/m	35.3	28.9
BCM	BCM	31,957	30,023
Carga explosiva	Kg/tal	152	160
Consumo de emulsión	kg	15,174	8,000
Consumo de N30	kg	153	*
Consumo de Nitrato de Amonio	kg	*	11,280.0
Consumo de Diesel	gl	*	231.1
Factor de potencia	Kg/t	0.19	0.26
Velocidad de detonación - VOD	m/s	5,218	4,890
Fragmentación – p80	pulgadas	3.25	5.20
Porcentaje de finos	%	18.26	32.14
Presencia de humos	*	No	Si (naranjas)
Explosivos	\$	7,089	10,795
Accesorios (Booster + Fanel+ Intellishot + Cable Jumper)	\$	2,674	3,039
Voladura	\$	3,036	2,852
Costo de Voladura	\$	12,798	16,686
Costo de Perforación	\$	7,500	8,414
Costo Total (P&V)	\$	20,298	25,100
Costo (PU)	\$/BCM	0.64	0.84
	\$/tal	186.2	200.8

Nota: Elaboración propia



El cuadro anterior muestra el comparativo del proyecto P 3956 003, con los nuevos parámetros de diseño propuestos, utilizando el SANG APU 100% GAS Vs. El proyecto P3980 010, donde se emplea Heavy Anfo 46, notando como existe una variación de PU's, generando mayor costo con el Heavy Anfo 46, además, no se cumplen con el p80 ni el porcentaje de finos e impacta negativamente en el medioambiente produciendo humos naranjas (gases nitrosos).

#### **4.4.1 Ahorro conservando el diseño de malla ampliada**

El siguiente cuadro muestra el ahorro por tipo de explosivo, con la misma malla:

**Tabla 36**

*Ahorro considerando el diseño de malla ampliada*

<b>Explosivo</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Malla (BxE)</b>	<b># Taladros*</b>	<b>Costo (\$/Tal)</b>	<b>Costo Total (\$)</b>	<b>Ahorro (\$)</b>
SAN G	P3956-003	6.3 x 7.2	109	186.2	20,298	1,589
HA 46	P3980-010	6.3 x 7.2	109	200.8	21,887	

\*Se está considerando en ambos casos el mismo número de taladros

*Nota:* Elaboración propia

Por estas razones, el cambio de mezcla explosiva a SANG APU 100% GAS y la ampliación de malla a 6.3 x 7.2, contrasta la hipótesis de “H1: ... Mejorar la fragmentación, permitiendo alcanzar los targets de voladura”, además de generar un ahorro de costos de \$ 1,589.

#### **4.4.2 Proyección de ahorro según el budget 2022**

Analizando el número de taladros perforados por mes según el Budget 2022 y considerando el costo por taladro de 186.2 \$/tal para el SAN G 100% GAS y 200.8 \$/tal para el Heavy ANFO 46 (HA 46), se obtuvo los siguientes cuadros.

**Tabla 37***Proyección de ahorro según el Budget 2022*

<b>Costo total</b>				
<b>Mes</b>	<b># taladros</b>	<b>SAN G 100% GAS</b>	<b>HA 46</b>	
Enero	1,709	\$ 318,170	\$ 343,072	
Febrero	2,172	\$ 404,495	\$ 436,153	
Marzo	2,330	\$ 433,970	\$ 467,934	
Abril	2,446	\$ 455,499	\$ 491,149	
Mayo	2,457	\$ 457,471	\$ 493,275	
Junio	2,148	\$ 400,086	\$ 431,399	
Julio	2,476	\$ 461,167	\$ 497,260	
Agosto	2,494	\$ 464,522	\$ 500,877	
Septiembre	2,414	\$ 449,537	\$ 484,719	
Octubre	2,126	\$ 395,823	\$ 426,802	
Noviembre	1,605	\$ 298,914	\$ 322,308	
Diciembre	589	\$ 109,607	\$ 118,185	
<b>Total</b>	<b>24,966</b>	<b>\$ 4,649,262</b>	<b>\$ 5,013,133</b>	

*Nota:* Elaboración propia**Tabla 38***Diferencia de costos por explosivo*

<b>COSTO POR EXPLOSIVO</b>	<b>Costo (\$/tal)</b>	<b>Total 2022</b>
SAN G 100% GAS	186.2	\$ 4,649,262
HA 46	200.8	\$ 5,013,133
Ahorro anual		\$ 363,871

*Nota:* Elaboración propia

Realizando una proyección de costos considerando el número de taladros según el Budget 2022, se obtiene un ahorro anual de \$ 363,871 usando SAN G 100% GAS en comparación al HA 46, de esta forma se contrasta la hipótesis “H2: ...ahorro de costos en voladura”

En los siguientes párrafos, se resume la contrastación de las 4 hipótesis planteadas en la presente tesis, generados de migrar del Heavy Anfo 46 a la emulsión SANG APU 100% GAS.

Con el Heavy Anfo 46 se genera un p80 de 5.2 pulgadas y 32.14 % de finos, cuando lo solicitado por el área de planta y propuesto en la hipótesis del presente trabajo era lograr 4 pulgadas y 20% respectivamente. Luego de utilizar la emulsión SANG APU 100% GAS y analizar los resultados operativos en promedio se obtuvo 3.25 pulgadas de p80 y 18.26 % de finos; donde se contrasta la hipótesis “H1: ... mejora de la fragmentación, permitiendo alcanzar los targets de voladura”

Por otra parte, en ahorro de costos, después de un análisis de precios unitarios y costos considerando los explosivos, accesorios, perforación y voladura se obtuvo que con el Heavy Anfo 46 se obtiene 200.8 \$/tal y \$ 5,013,133 de costo anual con el Budget 2022. Mientras que con la emulsión SANG APU 100% GAS se obtuvo 186.2 \$/t y \$4,649,262 respectivamente. Por lo tanto, con la diferencia anual del Budget 2022 se obtiene un ahorro anual de \$363,871 usando la emulsión SAN G 100% GAS en comparación al HA 46. Cabe destacar que al emplear el Heavy Anfo 46, el impacto negativo en los factores operativos y económicos que se genera es que se realice el picotoneado adicional para fracturar la bolonería (ya que un “bolón” al estar sobredimensionado no podría ser transportado fácilmente y tampoco depositado en el pad de lixiviación) lo que implica emplear más recursos y tiempo que afectan el ciclo operativo normal, por ello la importancia económica y operativa de migrar del Heavy Anfo 46 a la emulsión SANG APU 100% GAS. En este párrafo se contrasta la hipótesis “H2: ...Ahorro de costos en voladura”

Adicionalmente, la VOD utilizando el Heavy Anfo 46 fue 4,890 m/s y lo registrado con la emulsión SANG APU 100% GAS fue en promedio 5,200 m/s. Además, el factor de potencia utilizando el Heavy Anfo 46 era en promedio 0.26 Kg/t, cuando lo propuesto fue reducirlo a 0.20 Kg/t, obteniéndose en campo valores de 0.17-0.20 kg/t. contrastando la hipótesis “H3: ...utilizar la emulsión San G 100% GAS permitirá obtener mejores resultados operativos con el aumento de la velocidad de detonación...”

Sumado a esto, en temas ambientales, la hipótesis fue mitigar la emisión de humos naranjas. Con el Heavy Anfo 46 se generaron gases nitrosos, produciéndose humos naranjas, mientras que con la emulsión SANG APU 100% GAS no se produjeron gases

nitrosos ni humos naranjas, resultados que se encuentran por debajo de lo establecido en la norma ambiental.

La VOD del Heavy Anfo 46 al ser menor que la VOD de la emulsión SANG APU 100% GAS no tiene la energía suficiente para fracturar por igual al macizo rocoso a lo largo de la columna explosiva. Adicionar que, durante la detonación con el Heavy Anfo 46 se producen gases nitrosos de coloración naranja, causados por un balance de oxígeno incompleto, lo que impacta negativamente en el medio ambiente y las comunidades, contrastándose la hipótesis “H4: ... reducirá la emisión de humos naranjas...”

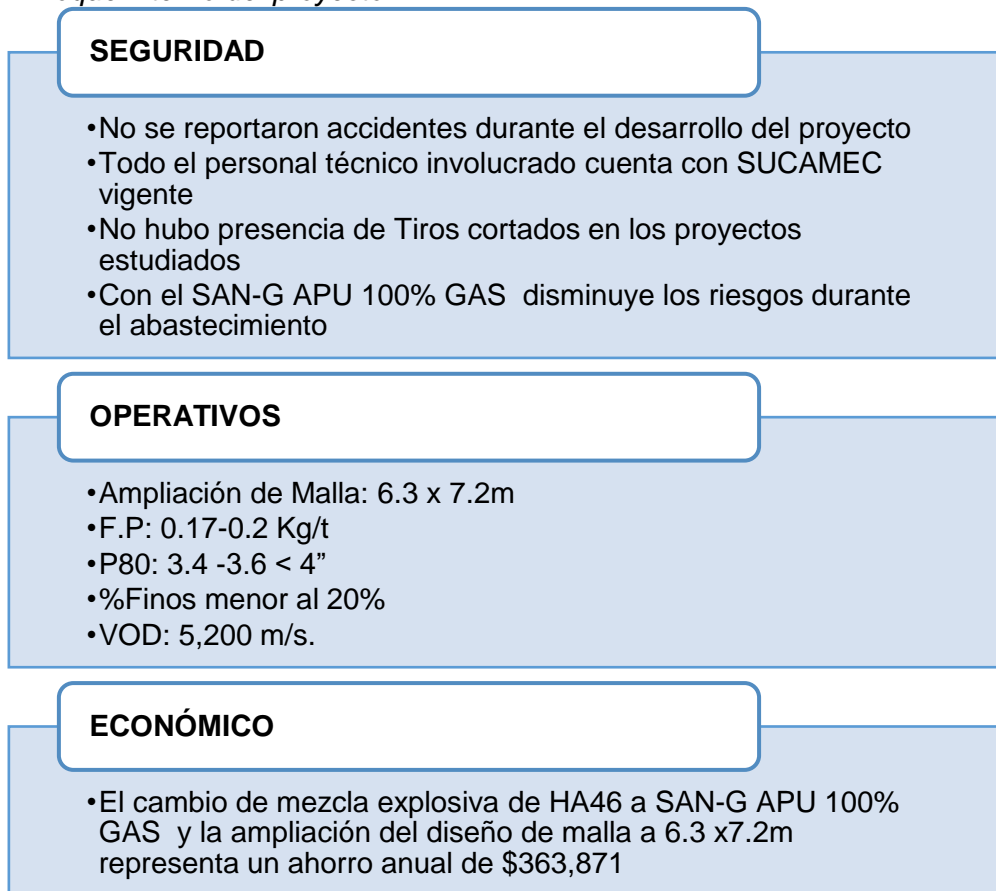
#### 4.5 Análisis de enfoques del proyecto

##### 4.5.1 Enfoque interno

La siguiente gráfica muestra el enfoque interno considerado para el análisis de la investigación:

**Figura 38**

*Enfoque interno del proyecto*



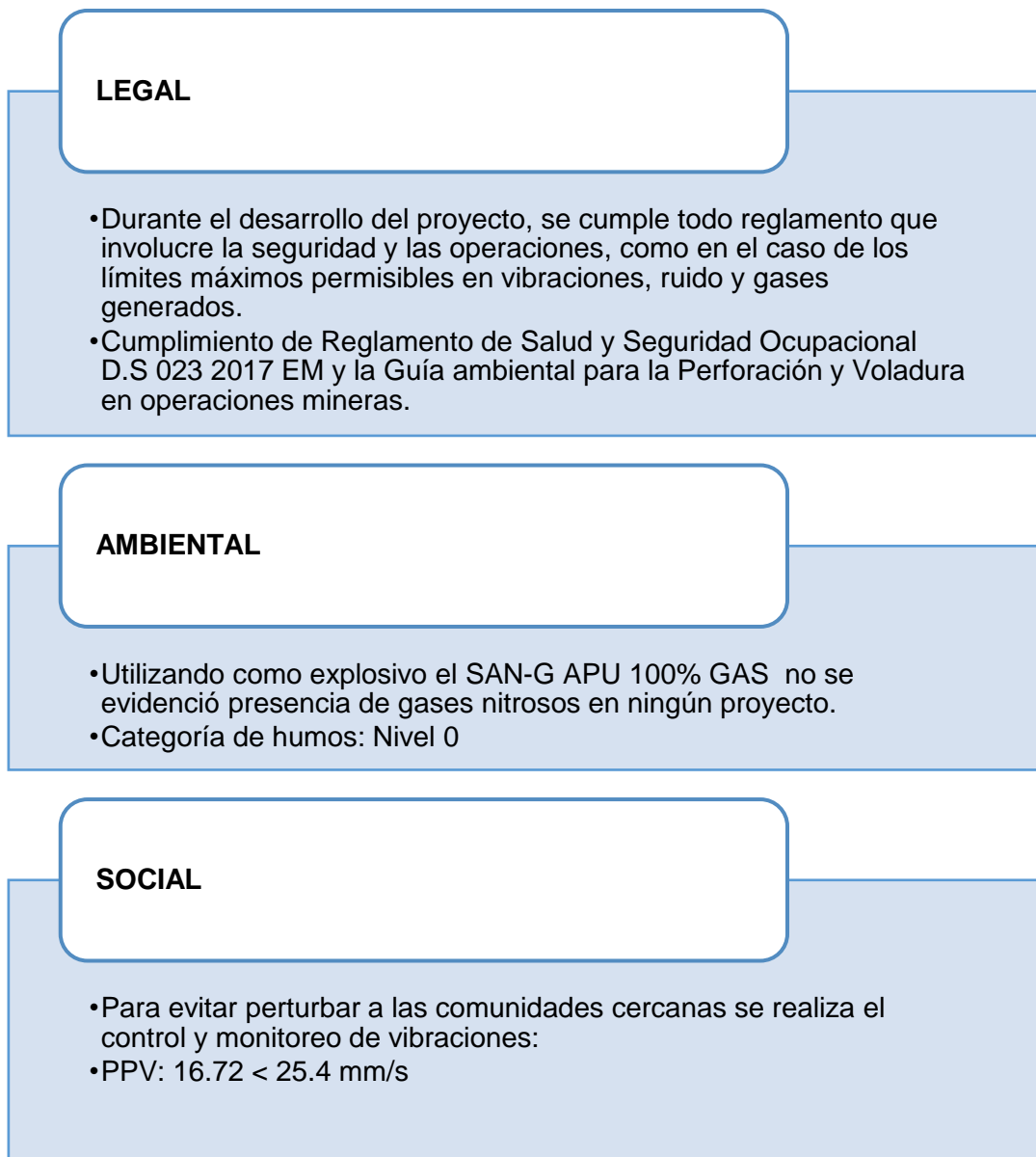
*Nota:* Elaboración propia

#### 4.5.2 Enfoque externo

La siguiente gráfica muestra el enfoque externo considerado para el análisis de la investigación:

**Figura 39**

*Enfoque externo del proyecto*



*Nota:* Elaboración propia

## Conclusiones

La utilización del Heavy Anfo 46 genera en promedio un p80 de 5.2 pulgadas y 32% de finos. Mientras que el realizar el cambio de mezcla explosiva a la emulsión SAN-G APU 100% GAS genera en promedio un p80 de 3.2 pulgadas y 18% de finos. En el último caso se cumple el p80, reduciéndose en 38% y el porcentaje de finos reduciéndose en 44%.

El promedio de Factor de Potencia (FP) de los proyectos cargados con HA-46 fue 0.26 kg/tn, mientras que los cargados con SAN-G APU 100% GAS fue de 0.17 - 0.20 Kg/tn, reduciéndose en 23%.

La fragmentación promedio P80 para mineral con explosivo SAN-G APU 100% GAS es 3.4 - 3.6 pulgadas, el cual está por debajo del target, menor a 4.0 pulgadas. En el caso de desmonte se obtuvo un P80 de 3.8 - 4.5 pulgadas, por debajo del target, menor a 6.0 pulgadas.

El esponjamiento del SAN-G APU 100% GAS dentro del taladro es importante para distribuir la carga explosiva a lo largo del taladro, de esta manera se reduce el taco, y al detonar la energía se libera de manera uniforme, no solo en el fondo del taladro. En el caso de que la carga no sea correctamente distribuida, la energía se distribuiría principalmente en el fondo del taladro, lo que causaría bolonería en la parte superior.

El porcentaje de finos promedio de los proyectos cargados con SAN-G APU 100% GAS fue de 17 – 19%, el cual está por debajo del target, menor al 20% de finos en el material volado.

El VOD promedio con el SAN-G APU 100% GAS fue de 5,200 - 5,333 m/s, mientras que con el Heavy Anfo 46 fue en promedio 4,800 m/s.

Para el control de vibraciones, el valor de PPV obtenido con SAN-G APU 100% GAS, en promedio es 16.72 mm/s, los cuales se encuentran por debajo del límite establecido según la norma peruana 25.4 mm/s en PPV. (Guía ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras - MEM)

Se demostró que al cargar los proyectos con la mezcla SAN-G APU 100% GAS se reduce a 0% la incidencia de gases NOx (ausencia de humos naranjas)

Con el cambio de mezcla explosiva a SANG APU 100% GAS y la ampliación de malla a 6.3 x 7.2 se obtiene el menor PU de 0.64 \$/BCM. Después de un análisis de costos considerando los explosivos, accesorios, perforación y voladura se obtuvo que con el Heavy Anfo 46 se obtiene 200.8 \$/tal y \$ 5,013,133 de costo anual con el Budget 2022. Mientras que con la emulsión SANG APU 100% GAS se obtuvo 186.2 \$/t y \$4,649,262 respectivamente.

Considerando el número de taladros según el Budget 2022, se obtiene un beneficio de \$363,871 usando SAN G 100% GAS en comparación al uso del Heavy Anfo 46.

## Recomendaciones

Implementar el SANG APU 100% GAS, donde la densidad inicial oscile entre 1.32 +/- 0.02 g/cc, y la densidad final o en copa de 0,90 gr/cc a 1.15 g/cc, a fin de lograr el máximo esponjamiento por parte de la emulsión y ocupe el mayor volumen posible dentro del taladro, requiriendo menos explosivo.

Ampliar el diseño de malla a 6.3 x7.2m, ya que el SANG APU 100% GAS posee la suficiente energía para transmitirla entre taladros al momento de la detonación, y además se incurre en menos metros perforados.

Utilizar 1% de solución sensibilizante de toda la emulsión a fin de alcanzar el esponjamiento óptimo.

Distribuir de manera uniforme la carga explosiva a lo largo del taladro, para aprovechar el alto VOD que posee el SANG APU 100% GAS, y de esta manera cumplir con los indicadores de voladura, como el porcentaje de finos menor al 20% y un p80 de material volado menor a 4" para mineral.

El presente caso de estudio, está implementado en la unidad, a la fecha como práctica de mejora continua se continúa buscando alternativas para optimizar toda la cadena operativa, entre estas ampliar la malla a 6.4x7.3. de acuerdo con la zonificación y del tipo de roca. Por otro lado, se está realizando el seguimiento a la velocidad de perforación por taladro, para tener certeza de la dureza de la roca, y si fuese necesario modificar en taladros puntuales la carga explosiva para evitar bolonería durante la voladura en zonas donde la caracterización del macizo rocoso es diferente a la zonificación mostrada inicialmente, ya que la geología es irregular.



## Referencias bibliográficas

- Aguirre, A. (2016). *Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera El Alba* [Tesis de bachiller, Universidad de Chile]. Red de repositorios latinoamericanos <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2443332>
- David, O. (2013). *Voladuras de alta intensidad y su influencia en el chancado y molienda del pórfido cupríferos de Cerro Verde* [Tesis de bachiller, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3862>
- EXSA. (2000). *Manual práctico de voladura (5° ed.)* <https://minedeskcorp.com/libro-manual-practico-de-voladura-exsa/>
- Famesa Explosivos. (2019). *Manual de Perforación y voladura*. <https://www.mineriadelibrosycursos.com/2020/01/manual-de-perforacion-y-voladura-2019.html>
- Glencore. (2022). *Blast Fume Management Procedure*. <https://www.glencore.com.au/.rest/api/v1/documents/675801501044185e1587bad21df7707c/Blast+Fume+Management+Procedure+2022.pdf>
- Knight Piésold Consultores S.A. (2008). *Compañía Minera Coimolache S.A. Proyecto Tantahuatay Estudio de Impacto Ambiental*. <https://docplayer.es/224116988-Compania-minera-coimolache-s-a-proyecto-tantahuatay-estudio-de-impacto-ambiental-resumen-ejecutivo.html>
- Konya, C., & Albarrán, E. (1998). *Diseño De Voladuras*. México D.F.
- León, Y. (2010). *Uso del explosivo gasificable en la mejora de calidad de una voladura en Minera Yanacocha* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Red de repositorios latinoamericanos <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2352072>

López Jimeno, C., López Jimeno, E., & García Bermúdez, P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid, España.

Music, A. (2007). *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, Mina El Teniente* [Tesis de bachiller, Universidad de Chile]. Red de repositorios latinoamericanos  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2409947>

Quiroga, M. (2013). *Análisis de la perforación y tronadura en El Soldado* [Tesis de bachiller, Universidad de Chile]. Red de repositorios latinoamericanos  
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2418959>

Salcedo, E. (2015). *Evaluación técnica y económica de la emulsión gasificada en minera Yanacocha SRL*. [Tesis de bachiller, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_15f384fd9488775e691af359fd431dd7/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_15f384fd9488775e691af359fd431dd7/Description#tabnav)

Zapana, E. (2018). *Implementación de un agente de voladura altamente energético (vistis) en macizos rocosos competentes de mineral, aumentando la producción y disminuyendo la granulometría CIA Minera las Bambas* [Tesis de bachiller, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6707/Mizagaed.pdf?sequence=1&isAllo>

## Anexos

	Pág.
Anexo 1: Guía ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras.....	1
Anexo 2: Relaciones Empíricas para el macizo rocoso.....	2
Anexo 3: Diseño de secuencia P 3972 014.....	3
Anexo 4: Retardo por taladros P 3972 014 .....	4
Anexo 5: Burden de alivio P 3972 014 .....	5
Anexo 6: Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3972 – 014.....	6
Anexo 7: Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del proyecto 3972 - 014 .....	11
Anexo 8: Variación de la densidad del proyecto 3972 - 014.....	11
Anexo 9: Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3964 - 014 .....	12
Anexo 10: Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del P3964 014.....	14
Anexo 11: Variación de la densidad en el tiempo P3964 014.....	14
Anexo 12: Diseño de secuencia P 3964 014.....	15
Anexo 13: Retardo por taladros P 3964 014 .....	16
Anexo 14: Burden de alivio P 3964 014 .....	17
Anexo 15: Diseño de secuencia P 3956 003.....	18
Anexo 16: Retardo por taladros P 3956 003 .....	19
Anexo 17: Burden de alivio P 3956 003 .....	20
Anexo 18: Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3956 003.....	21
Anexo 19: Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del proyecto 3956 003.....	24
Anexo 20: Variación de la densidad del proyecto 3956 003.....	24

## Anexo 1

### Guía ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras

GUÍA AMBIENTAL PARA LA PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN OPERACIONES MINERAS (MEM - PERU 1995)			
DISTANCIA DESDE EL ÁREA DE VOLADURA		PPV MÁXIMO PERMITIDA	
Metros	Pies	mm/s	Pulg/s
91	300	31.75	1.25
91 – 1524	301-5000	25.4	1
>1524	>5000	19.05	0.75

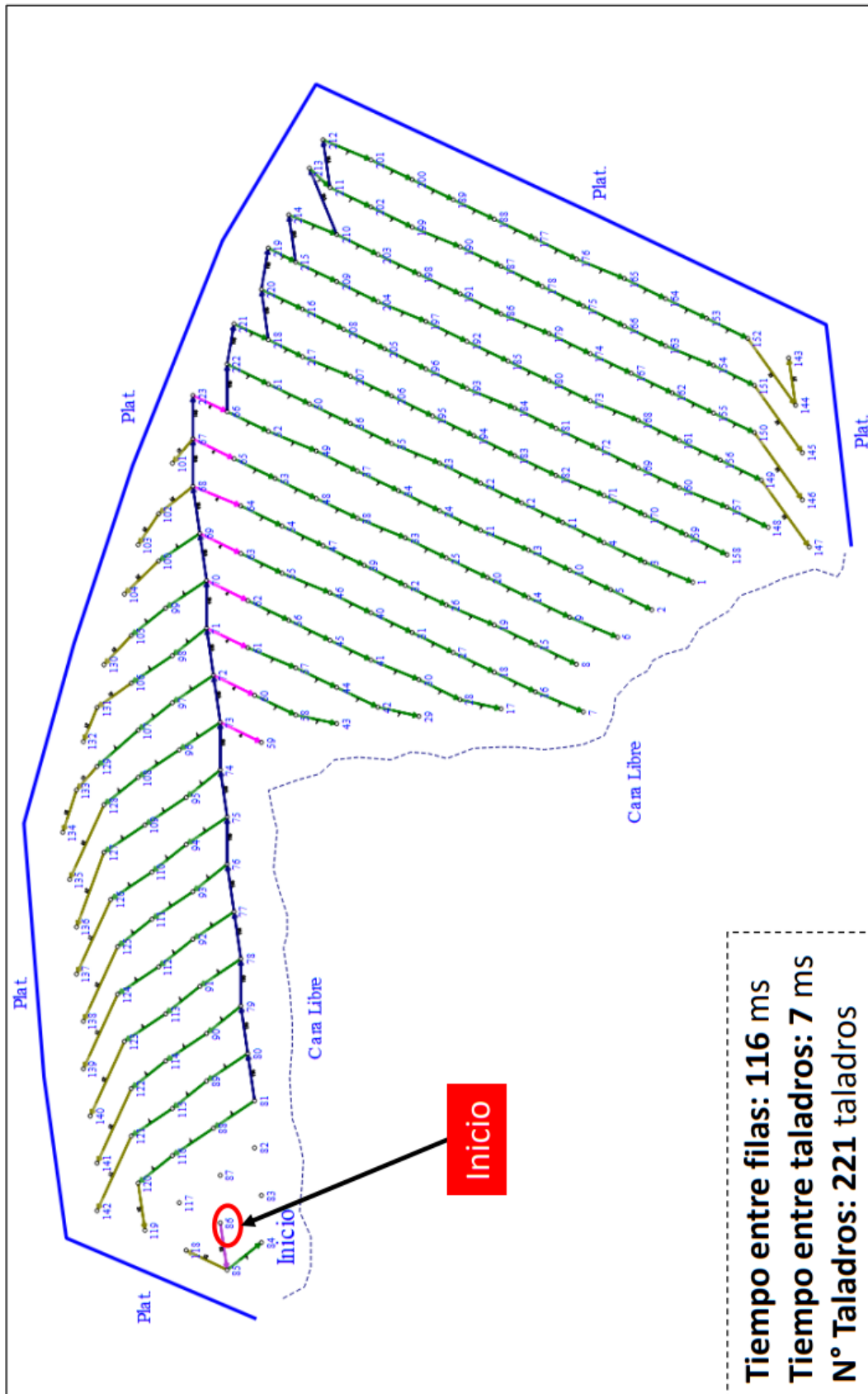
## Anexo 2

### Relaciones Empíricas para el macizo rocoso

RELACIONES EMPIRICAS PARA EL MACIZO ROCOSO		
VELOCIDAD PICO PARTÍCULA		EFECTOS EN LA MASA ROCOSA
mm/s	Pulg/s	
<254	<10	No hay fracturas de las rocas intactas
254 - 381	10_15	Puede ocurrir rebanado, tensional menor, caída de rocas
635 - 2540	25 - 100	Rajaduras tensionales fuertes, cierta rajadura radial, fracturas
>2540	>100	Rotura completa de la masa rocosa

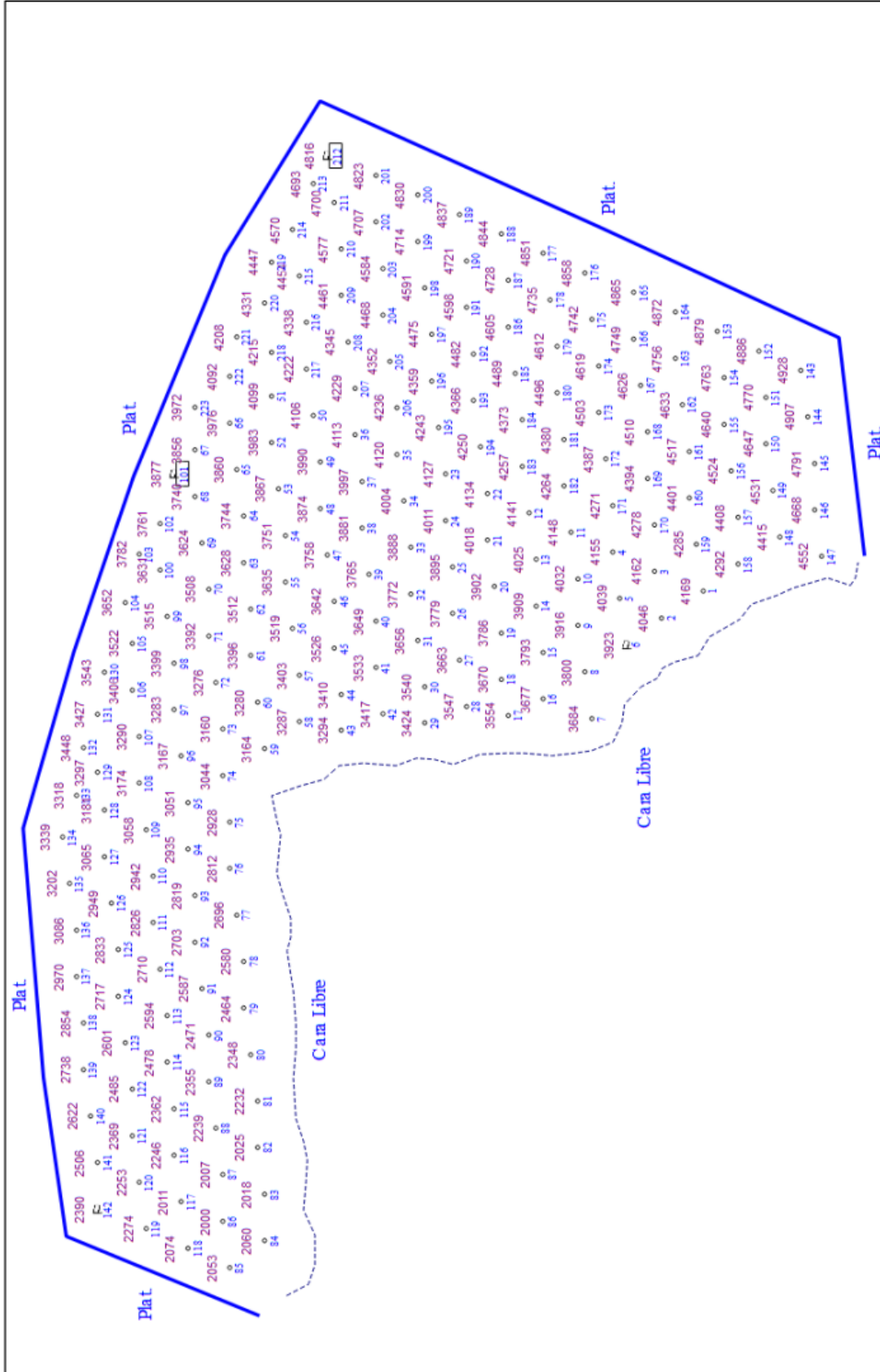
Anexo 3

Diseño de secuencia P 3972 014



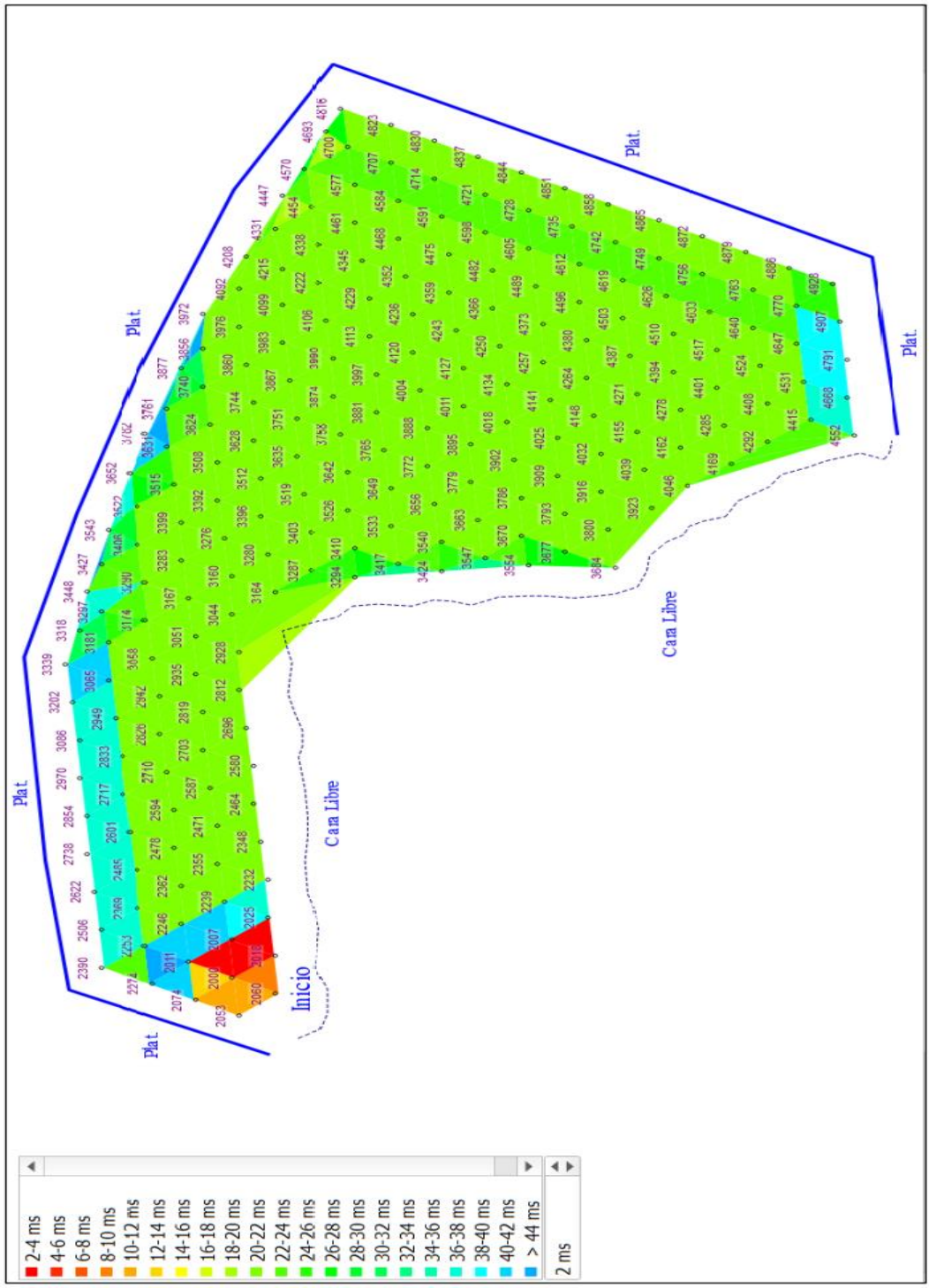
# Anexo 4

Retardo por taladros P 3972 014



# Anexo 5

## Burden de alivio P 3972 014



## Anexo 6

### Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3972 – 014

#	H Real	B (m)	E (m)	taco final	m <sup>3</sup>	Toneladas	Booster (UND)	Intellishot 15 m (UND)	Nonel N°17 800ms P (UND)	Emulsión gasificada SANG-APU
1	8.5	5.90	6.80	4.00	342.7	866.9	1	1	1	130
2	8.3	5.90	6.80	4.00	332.4	841.1	1	1	1	190
3	8.2	5.90	6.80	4.00	327.7	829.0	1	1	1	190
4	8.2	5.90	6.80	4.00	327.6	828.8	1	1	1	130
5	8.1	5.90	6.80	4.00	323.1	817.4	1	1	1	190
6	8.0	5.90	6.80	4.00	322.8	816.8	1	1	1	160
7	8.1	5.90	6.80	4.00	325.8	824.3	1	1	1	140
8	8.1	5.90	6.80	4.00	324.8	821.8	1	1	1	190
9	8.0	5.90	6.80	4.00	319.0	807.0	1	1	1	190
10	8.0	5.90	6.80	4.00	319.2	807.5	1	1	1	185
11	8.0	5.90	6.80	4.00	321.2	812.7	1	1	1	129
12	8.1	5.90	6.80	4.00	325.2	822.7	1	1	1	180
13	8.1	5.90	6.80	4.00	324.9	822.1	1	1	1	190
14	8.0	5.90	6.80	4.00	320.4	810.6	1	1	1	180
15	8.3	5.90	6.80	4.00	331.7	839.1	1	1	1	190
16	7.9	5.90	6.80	4.00	317.6	803.5	1	1	1	190
17	8.2	5.90	6.80	4.00	329.9	834.7	1	1	1	170
18	8.1	5.90	6.80	4.00	325.1	822.6	1	1	1	190
19	7.8	5.90	6.80	4.00	312.5	790.5	1	1	1	60
20	8.0	5.90	6.80	4.00	321.3	812.8	1	1	1	160
21	8.0	5.90	6.80	4.00	321.2	812.7	1	1	1	190
22	8.1	5.90	6.80	4.00	324.0	819.8	1	1	1	180
23	7.9	5.90	6.80	4.00	317.5	803.2	1	1	1	155
24	8.0	5.90	6.80	4.00	321.2	812.5	1	1	1	190
25	8.2	5.90	6.80	4.00	328.5	831.1	1	1	1	190
26	8.1	5.90	6.80	4.00	324.3	820.5	1	1	1	140
27	8.1	5.90	6.80	4.00	324.9	822.0	1	1	1	150
28	8.2	5.90	6.80	4.00	327.9	829.7	1	1	1	157
29	8.1	5.90	6.80	4.00	325.3	822.9	1	1	1	150
30	8.1	5.90	6.80	4.00	325.2	822.7	1	1	1	190
31	8.1	5.90	6.80	4.00	326.1	825.1	1	1	1	187
32	8.1	5.90	6.80	4.00	323.5	818.4	1	1	1	190
33	8.0	5.90	6.80	4.00	321.0	812.2	1	1	1	180
34	7.9	5.90	6.80	4.00	317.4	803.0	1	1	1	180
35	7.9	5.90	6.80	4.00	317.7	803.7	1	1	1	190
36	7.9	5.90	6.80	4.00	318.3	805.2	1	1	1	190
37	8.0	5.90	6.80	4.00	321.8	814.2	1	1	1	190
38	7.9	5.90	6.80	4.00	318.3	805.2	1	1	1	185
39	7.9	5.90	6.80	4.00	317.5	803.4	1	1	1	210



40	8.0	5.90	6.80	4.00	322.9	816.9	1	1	1	190
41	8.1	5.90	6.80	4.00	323.0	817.1	1	1	1	180
42	8.1	5.90	6.80	4.00	323.9	819.4	1	1	1	180
43	8.1	5.90	6.80	4.00	326.0	824.7	1	1	1	190
44	8.1	5.90	6.80	4.00	325.1	822.6	1	1	1	180
45	8.1	5.90	6.80	4.00	323.0	817.1	1	1	1	170
46	8.1	5.90	6.80	4.00	325.4	823.2	1	1	1	210
47	8.0	5.90	6.80	4.00	320.5	810.9	1	1	1	190
48	8.0	5.90	6.80	4.00	322.0	814.8	1	1	1	190
49	8.2	5.90	6.80	4.00	327.6	828.8	1	1	1	190
50	8.1	5.90	6.80	4.00	325.7	823.9	1	1	1	190
51	8.1	5.90	6.80	4.00	326.1	825.0	1	1	1	190
52	8.1	5.90	6.80	4.00	326.5	826.1	1	1	1	190
53	8.2	5.90	6.80	4.00	328.6	831.3	1	1	1	190
54	8.2	5.90	6.80	4.00	328.0	829.8	1	1	1	190
55	8.1	5.90	6.80	4.00	323.7	819.0	1	1	1	190
56	8.1	5.90	6.80	4.00	324.7	821.4	1	1	1	190
57	8.3	5.90	6.80	4.00	332.0	839.8	1	1	1	190
58	8.2	5.90	6.80	4.00	327.5	828.7	1	1	1	190
59	8.2	5.90	6.80	4.00	329.9	834.8	1	1	1	130
60	8.2	5.90	6.80	4.00	328.0	829.8	1	1	1	190
61	8.1	5.90	6.80	4.00	324.1	819.9	1	1	1	165
62	8.2	5.90	6.80	4.00	327.7	829.2	1	1	1	180
63	8.3	5.90	6.80	4.00	333.6	844.0	1	1	1	180
64	8.3	5.90	6.80	4.00	333.1	842.7	1	1	1	180
65	8.4	5.90	6.80	4.00	337.8	854.6	1	1	1	180
66	8.3	5.90	6.80	4.00	334.6	846.6	1	1	1	180
67	8.9	5.90	6.80	4.00	358.4	906.8	1	1	1	90
68	8.4	5.90	6.80	4.00	335.2	848.1	1	1	1	130
69	8.5	5.90	6.80	4.00	340.7	862.1	1	1	1	180
70	8.4	5.90	6.80	4.00	335.3	848.4	1	1	1	200
71	8.3	5.90	6.80	4.00	333.5	843.8	1	1	1	180
72	8.3	5.90	6.80	4.00	331.8	839.4	1	1	1	170
73	8.3	5.90	6.80	4.00	334.8	847.1	1	1	1	180
74	8.3	5.90	6.80	4.00	332.4	841.1	1	1	1	170
75	8.4	5.90	6.80	4.00	337.3	853.3	1	1	1	180
76	8.4	5.90	6.80	4.00	337.7	854.4	1	1	1	180
77	8.4	5.90	6.80	4.00	337.6	854.1	1	1	1	180
78	8.2	5.90	6.80	4.00	330.9	837.1	1	1	1	180
79	8.0	5.90	6.80	4.00	322.2	815.2	1	1	1	170
80	7.8	5.90	6.80	4.00	314.5	795.8	1	1	1	150
81	7.8	5.90	6.80	4.00	311.7	788.6	TALADRO TAPADO			
82	8.0	5.90	6.80	4.00	321.0	812.2	1	1	1	145
83	8.3	5.90	6.80	4.00	332.9	842.3	1	1	1	130
84	8.5	5.90	6.80	4.00	342.6	866.8	1	1	1	100

85	8.0	5.90	6.80	4.00	319.2	807.6	1	1	1	131
86	8.0	5.90	6.80	4.00	322.8	816.6	1	1	1	162
87	8.0	5.90	6.80	4.00	320.8	811.6	1	1	1	188
88	7.9	5.90	6.80	4.00	317.2	802.5	1	1	1	180
89	8.0	5.90	6.80	4.00	320.8	811.7	1	1	1	180
90	8.2	5.90	6.80	4.00	329.1	832.7	1	1	1	170
91	8.1	5.90	6.80	4.00	325.2	822.7	1	1	1	180
92	8.2	5.90	6.80	4.00	330.2	835.4	1	1	1	186
93	8.3	5.90	6.80	4.00	331.1	837.7	1	1	1	180
94	8.3	5.90	6.80	4.00	334.3	845.7	1	1	1	180
95	8.3	5.90	6.80	4.00	333.1	842.8	1	1	1	180
96	8.2	5.90	6.80	4.00	329.7	834.1	1	1	1	180
97	8.3	5.90	6.80	4.00	332.0	839.8	1	1	1	180
98	8.3	5.90	6.80	4.00	332.4	840.9	1	1	1	180
99	8.3	5.90	6.80	4.00	331.5	838.7	1	1	1	180
100	8.3	5.90	6.80	4.00	333.1	842.7	1	1	1	180
101	8.3	5.90	6.80	4.00	331.1	837.6	1	1	1	150
102	8.3	5.90	6.80	4.00	331.8	839.3	1	1	1	130
103	8.2	5.90	6.80	4.00	330.1	835.1	1	1	1	130
104	8.2	5.90	6.80	4.00	329.5	833.8	1	1	1	180
105	8.2	5.90	6.80	4.00	330.7	836.6	1	1	1	180
106	8.4	5.90	6.80	4.00	336.7	851.9	1	1	1	180
107	8.4	5.90	6.80	4.00	336.0	850.1	1	1	1	180
108	8.4	5.90	6.80	4.00	336.0	850.0	1	1	1	180
109	8.3	5.90	6.80	4.00	331.5	838.6	1	1	1	180
110	8.2	5.90	6.80	4.00	330.8	837.0	1	1	1	190
111	8.3	5.90	6.80	4.00	332.0	840.0	1	1	1	210
112	8.1	5.90	6.80	4.00	326.9	827.1	1	1	1	190
113	8.2	5.90	6.80	4.00	327.5	828.6	1	1	1	190
114	8.0	5.90	6.80	4.00	321.6	813.8	1	1	1	200
115	8.0	5.90	6.80	4.00	319.7	808.8	1	1	1	190
116	8.0	5.90	6.80	4.00	321.1	812.3	1	1	1	190
117	7.9	5.90	6.80	4.00	315.2	797.4	1	1	1	210
118	7.9	5.90	6.80	4.00	318.8	806.6	1	1	1	163
119	7.8	5.90	6.80	4.00	311.9	789.0	1	1	1	120
120	8.0	5.90	6.80	4.00	321.1	812.4	1	1	1	160
121	8.1	5.90	6.80	4.00	323.8	819.1	1	1	1	170
122	8.0	5.90	6.80	4.00	320.4	810.7	1	1	1	190
123	8.0	5.90	6.80	4.00	320.4	810.6	1	1	1	200
124	8.1	5.90	6.80	4.00	324.7	821.5	1	1	1	190
125	8.2	5.90	6.80	4.00	328.3	830.7	1	1	1	190
126	8.2	5.90	6.80	4.00	328.3	830.7	1	1	1	220
127	8.1	5.90	6.80	4.00	324.2	820.3	1	1	1	190
128	8.1	5.90	6.80	4.00	326.3	825.4	1	1	1	190
129	8.2	5.90	6.80	4.00	327.6	828.8	1	1	1	175
130	8.2	5.90	6.80	4.00	327.0	827.3	1	1	1	205
131	8.2	5.90	6.80	4.00	328.8	831.8	1	1	1	120
132	8.2	5.90	6.80	4.00	327.5	828.7	1	1	1	154

133	8.0	5.90	6.80	4.00	320.6	811.0	1	1	1	120
134	8.1	5.90	6.80	4.00	324.1	820.0	1	1	1	120
135	8.1	5.90	6.80	4.00	323.7	818.9	1	1	1	120
136	8.2	5.90	6.80	4.00	327.3	828.2	1	1	1	120
137	8.2	5.90	6.80	4.00	327.0	827.4	1	1	1	120
138	8.0	5.90	6.80	4.00	322.4	815.6	1	1	1	120
139	7.9	5.90	6.80	4.00	316.8	801.5	1	1	1	120
140	7.9	5.90	6.80	4.00	317.0	802.0	1	1	1	120
141	8.0	5.90	6.80	4.00	321.2	812.7	1	1	1	120
142	7.9	5.90	6.80	4.00	318.6	805.9	1	1	1	120
143	8.1	5.90	6.80	4.00	326.1	825.1	1	1	1	50
144	8.3	5.90	6.80	4.00	332.4	841.0	1	1	1	190
145	8.2	5.90	6.80	4.00	330.5	836.3	1	1	1	130
146	8.4	5.90	6.80	4.00	337.8	854.6	1	1	1	130
147	8.5	5.90	6.80	4.00	342.6	866.8	1	1	1	130
148	8.4	5.90	6.80	4.00	337.4	853.7	1	1	1	150
149	8.4	5.90	6.80	4.00	336.1	850.4	1	1	1	190
150	8.4	5.90	6.80	4.00	335.6	849.0	1	1	1	190
151	8.3	5.90	6.80	4.00	333.9	844.8	1	1	1	190
152	8.3	5.90	6.80	4.00	333.7	844.2	1	1	1	130
153	8.3	5.90	6.80	4.00	332.8	841.9	1	1	1	140
154	8.2	5.90	6.80	4.00	327.5	828.5	1	1	1	190
155	8.3	5.90	6.80	4.00	332.8	842.0	1	1	1	190
156	8.4	5.90	6.80	4.00	336.0	850.0	1	1	1	190
157	8.2	5.90	6.80	4.00	328.2	830.4	1	1	1	190
158	8.3	5.90	6.80	4.00	333.2	843.1	1	1	1	130
159	8.2	5.90	6.80	4.00	328.4	830.9	1	1	1	170
160	8.1	5.90	6.80	4.00	326.4	825.8	1	1	1	190
161	8.1	5.90	6.80	4.00	326.8	826.7	1	1	1	190
162	8.2	5.90	6.80	4.00	330.9	837.1	1	1	1	190
163	8.3	5.90	6.80	4.00	333.9	844.7	1	1	1	170
164	8.3	5.90	6.80	4.00	331.2	838.0	1	1	1	180
165	8.3	5.90	6.80	4.00	331.3	838.1	1	1	1	130
166	8.3	5.90	6.80	4.00	331.1	837.7	1	1	1	130
167	8.2	5.90	6.80	4.00	329.0	832.4	1	1	1	190
168	8.0	5.90	6.80	4.00	322.7	816.4	1	1	1	190
169	8.1	5.90	6.80	4.00	326.2	825.3	1	1	1	190
170	8.2	5.90	6.80	4.00	327.1	827.6	1	1	1	190
171	8.1	5.90	6.80	4.00	326.3	825.5	1	1	1	150
172	8.2	5.90	6.80	4.00	327.5	828.7	1	1	1	190
173	8.1	5.90	6.80	4.00	324.8	821.7	1	1	1	180
174	8.1	5.90	6.80	4.00	326.1	824.9	1	1	1	180
175	8.1	5.90	6.80	4.00	324.5	820.9	1	1	1	190
176	8.0	5.90	6.80	4.00	321.4	813.1	1	1	1	190
177	8.0	5.90	6.80	4.00	320.6	811.2	1	1	1	140
178	8.2	5.90	6.80	4.00	330.4	836.0	1	1	1	190
179	8.2	5.90	6.80	4.00	330.8	837.0	1	1	1	183
180	8.1	5.90	6.80	4.00	325.3	823.1	1	1	1	180

181	8.0	5.90	6.80	4.00	322.0	814.7	1	1	1	180
182	8.0	5.90	6.80	4.00	321.5	813.3	1	1	1	160
183	8.0	5.90	6.80	4.00	322.3	815.5	1	1	1	180
184	8.2	5.90	6.80	4.00	327.2	827.8	1	1	1	150
185	8.1	5.90	6.80	4.00	326.8	826.8	1	1	1	190
186	8.2	5.90	6.80	4.00	327.9	829.6	1	1	1	190
187	8.0	5.90	6.80	4.00	322.4	815.6	1	1	1	190
188	7.9	5.90	6.80	4.00	318.1	804.8	1	1	1	190
189	8.1	5.90	6.80	4.00	326.8	826.7	1	1	1	190
190	8.1	5.90	6.80	4.00	323.7	818.9	1	1	1	190
191	8.1	5.90	6.80	4.00	325.6	823.8	1	1	1	190
192	8.3	5.90	6.80	4.00	334.6	846.4	1	1	1	190
193	8.2	5.90	6.80	4.00	330.6	836.4	1	1	1	175
194	8.2	5.90	6.80	4.00	328.3	830.5	1	1	1	190
195	8.2	5.90	6.80	4.00	327.7	829.1	1	1	1	190
196	8.1	5.90	6.80	4.00	323.5	818.4	1	1	1	190
197	8.2	5.90	6.80	4.00	330.1	835.2	1	1	1	190
198	7.9	5.90	6.80	4.00	317.3	802.9	TALADRO TAPADO			
199	8.2	5.90	6.80	4.00	329.1	832.5	1	1	1	190
200	8.0	5.90	6.80	4.00	321.1	812.4	1	1	1	130
201	8.1	5.90	6.80	4.00	325.2	822.8	1	1	1	190
202	8.2	5.90	6.80	4.00	327.8	829.3	1	1	1	190
203	8.0	5.90	6.80	4.00	321.9	814.4	1	1	1	190
204	7.9	5.90	6.80	4.00	317.5	803.4	2	2	2	180
205	8.0	5.90	6.80	4.00	322.4	815.8	1	1	1	190
206	7.9	5.90	6.80	4.00	317.9	804.3	1	1	1	190
207	8.1	5.90	6.80	4.00	325.7	824.1	1	1	1	190
208	8.0	5.90	6.80	4.00	320.5	810.9	1	1	1	190
209	8.1	5.90	6.80	4.00	326.9	827.1	1	1	1	190
210	8.1	5.90	6.80	4.00	324.0	819.6	1	1	1	190
211	8.2	5.90	6.80	4.00	330.5	836.1	1	1	1	60
212	8.1	5.90	6.80	4.00	324.7	821.5	TALADRO TAPADO			
213	8.2	5.90	6.80	4.00	328.2	830.4	1	1	1	150
214	8.0	5.90	6.80	4.00	320.9	811.9	1	1	1	176
215	8.2	5.90	6.80	4.00	328.5	831.0	1	1	1	190
216	8.1	5.90	6.80	4.00	326.6	826.2	1	1	1	190
217	8.0	5.90	6.80	4.00	322.8	816.7	1	1	1	190
218	8.3	5.90	6.80	4.00	332.4	841.1	1	1	1	130
219	8.0	5.90	6.80	4.00	320.9	811.9	1	1	1	130
220	8.0	5.90	6.80	4.00	321.7	813.9	1	1	1	190
221	8.1	5.90	6.80	4.00	324.9	821.9	1	1	1	114
222	8.2	5.90	6.80	4.00	329.4	833.4	1	1	1	190
223	8.2	5.90	6.80	4.00	328.8	831.9	1	1	1	190

## Anexo 7

*Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del proyecto 3972 - 014*

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO		CARACTERÍSTICAS DEL TALADRO					MEDICIÓN DE TACO (m)					
PLACA	Procedencia	Taladro (ID)	Densidad inicial (g/cc)	Densidad de copa (g/cc)	Altura (m)	Carga (kg)	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20	Esponjamiento (m)
ASK.776	Chancay	140	1.330	1.168	8.00	130.00	5.20	5.10	5.00	4.90	4.80	0.40
ASK.776	Chancay	136	1.330	1.178	8.00	120.00	5.60	5.40	5.30	5.20	5.10	0.50
ASK.776	Chancay	124	1.305	0.996	8.20	190.00	4.30	4.00	3.90	3.80	3.80	0.50
ASK.776	Chancay	116	1.310	1.004	8.10	190.00	4.600	4.300	4.200	4.100	4.000	0.60
ASK.776	Chancay	108	1.318	1.128	7.90	180.00	4.600	4.400	4.300	4.200	4.100	0.50
ASK.776	Chancay	193	1.309	1.051	8.20	193.00	4.200	3.800	3.700	3.650	3.600	0.60
ASK.776	Chancay	217	1.302	1.003	8.40	190.00	4.700	4.400	4.200	4.100	4.000	0.70
ASK.776	Chancay	26	1.320	1.104	8.00	190.00	4.800	4.500	4.300	4.200	4.100	0.70
ASK.776	Chancay	86	1.316	1.086	7.70	162.00	4.300	3.800	3.700	3.650	3.600	0.70
ASK.776	Chancay	87	1.316	1.086	8.10	188.00	4.600	4.200	4.000	3.950	3.900	0.70

## Anexo 8

*Variación de la densidad del proyecto 3972 - 014*

MMU	Procedencia	ID Taladro	TIPO	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20
ASK-776	Chancay	140	B	1.330	1.287	1.240	1.200	1.168
ASK-776	Chancay	136	B	1.330	1.268	1.243	1.220	1.178
ASK-776	Chancay	124	B	1.305	1.143	1.046	1.002	0.996
ASK-776	Chancay	116	B	1.310	1.131	1.039	1.012	1.004
ASK-776	Chancay	108	B	1.318	1.230	1.174	1.140	1.128
ASK-776	Chancay	91	B	1.320	1.230	1.170	1.290	1.118
ASK-776	Chancay	77	B	1.320	1.216	1.160	1.135	1.115
ASK-776	Chancay	183	B	1.309	1.122	1.044	1.031	1.012
ASK-776	Chancay	193	B	1.309	1.160	1.105	1.072	1.051
ASK-776	Chancay	217	B	1.302	1.096	1.041	1.021	1.003
ASK-776	Chancay	209	B	1.307	1.104	1.052	1.028	1.000
ASK-776	Chancay	172	B	1.317	1.228	1.176	1.124	1.090
ASK-776	Chancay	26	B	1.320	1.207	1.140	1.126	1.104
ASK-776	Chancay	86	B	1.316	1.199	1.132	1.104	1.086
ASK-776	Chancay	87	B	1.316	1.199	1.132	1.104	1.086

## Anexo 9

### Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3964 - 014

#	H Real	B (m)	E (m)	taco final	m <sup>3</sup>	Toneladas	Booster (UND)	Intellishot 15 m (UND)	Nonel N°17 800ms P (UND)	Emulsión gasificada SANG-APU
1	8.3	5.70	6.60	4.50	313.3	792.6	1	1	1	110
2	8.1	5.70	6.60	4.50	305.3	772.5	1	1	1	108
3	8.3	5.70	6.60	4.50	310.6	785.9	1	1	1	110
4	8.3	5.70	6.60	4.50	311.4	787.9	1	1	1	108
5	8.3	5.70	6.60	4.50	311.9	789.1	1	1	1	110
6	8.4	5.70	6.60	4.50	314.2	794.8	1	1	1	109
7	8.3	5.70	6.60	4.50	310.5	785.6	1	1	1	120
8	8.2	5.70	6.60	4.50	306.8	776.1	1	1	1	108
9	8.2	5.70	6.60	4.50	308.7	780.9	1	1	1	120
10	8.2	5.70	6.60	4.50	308.0	779.3	1	1	1	120
11	8.1	5.70	6.60	4.50	306.4	775.1	1	1	1	110
12	8.1	5.70	6.60	4.50	306.6	775.6	1	1	1	120
13	8.1	5.70	6.60	4.50	305.0	771.6	1	1	1	105
14	8.2	5.70	6.60	4.50	308.1	779.6	1	1	1	110
15	8.2	5.70	6.60	4.50	308.1	779.6	1	1	1	130
16	8.2	5.70	6.60	4.50	309.6	783.3	1	1	1	108
17	8.2	5.70	6.60	4.50	306.6	775.8	1	1	1	108
18	8.2	5.70	6.60	4.50	309.7	783.6	1	1	1	110
19	8.4	5.70	6.60	4.50	316.2	800.0	1	1	1	108
20	8.2	5.70	6.60	4.50	310.2	784.7	1	1	1	120
21	8.3	5.70	6.60	4.50	311.8	788.7	1	1	1	115
22	8.1	5.70	6.60	4.50	306.6	775.6	1	1	1	110
23	8.0	5.70	6.60	4.50	301.4	762.7	1	1	1	120
24	8.1	5.70	6.60	4.50	305.1	771.9	1	1	1	108
25	8.1	5.70	6.60	4.50	304.2	769.7	1	1	1	108
26	8.0	5.70	6.60	4.50	300.4	760.1	1	1	1	110
27	8.0	5.70	6.60	4.50	302.8	766.1	1	1	1	120
28	8.2	5.70	6.60	4.50	307.7	778.4	1	1	1	116
29	8.3	5.70	6.60	4.50	311.0	786.7	1	1	1	110
30	8.3	5.70	6.60	4.50	313.5	793.2	1	1	1	110
31	8.5	5.70	6.60	4.50	318.0	804.6	1	1	1	120
32	8.6	5.70	6.60	4.50	322.5	815.9	1	1	1	108
33	8.4	5.70	6.60	4.50	317.7	803.8	1	1	1	110
34	8.3	5.70	6.60	4.50	313.4	792.9	1	1	1	108
35	8.4	5.70	6.60	4.50	314.2	795.0	1	1	1	105
36	8.1	5.70	6.60	4.50	305.2	772.3	1	1	1	109
37	8.0	5.70	6.60	4.50	302.1	764.4	1	1	1	110
38	7.9	5.70	6.60	4.50	297.4	752.4	1	1	1	110
39	8.0	5.70	6.60	4.50	300.7	760.9	1	1	1	120
40	7.9	5.70	6.60	4.50	299.0	756.5	1	1	1	110

41	7.9	5.70	6.60	4.50	297.4	752.4	1	1	1	120
42	8.1	5.70	6.60	4.50	303.3	767.4	1	1	1	108
43	8.2	5.70	6.60	4.50	308.9	781.6	1	1	1	115
44	8.4	5.70	6.60	4.50	314.5	795.7	1	1	1	108
45	8.4	5.70	6.60	4.50	317.2	802.6	1	1	1	110
46	8.5	5.70	6.60	4.50	320.0	809.7	1	1	1	120
47	8.5	5.70	6.60	4.50	318.0	804.6	1	1	1	108
48	8.4	5.70	6.60	4.50	314.9	796.6	1	1	1	120
49	8.3	5.70	6.60	4.50	314.0	794.5	1	1	1	108
50	8.3	5.70	6.60	4.50	310.6	785.9	1	1	1	126
51	8.1	5.70	6.60	4.50	305.1	771.8	1	1	1	110
52	8.1	5.70	6.60	4.50	305.5	772.9	1	1	1	120
53	8.2	5.70	6.60	4.50	307.4	777.6	1	1	1	130
54	8.3	5.70	6.60	4.50	311.7	788.6	1	1	1	140
55	8.3	5.70	6.60	4.50	311.5	788.0	1	1	1	108
56	8.2	5.70	6.60	4.50	308.5	780.5	1	1	1	108
57	8.2	5.70	6.60	4.50	309.2	782.4	1	1	1	120
58	8.4	5.70	6.60	4.50	314.1	794.7	1	1	1	110
59	8.4	5.70	6.60	4.50	314.3	795.1	1	1	1	112
60	8.4	5.70	6.60	4.50	314.5	795.7	1	1	1	120
61	8.4	5.70	6.60	4.50	315.4	797.9	1	1	1	110
62	8.4	5.70	6.60	4.50	317.8	804.0	1	1	1	108
63	8.4	5.70	6.60	4.50	316.1	799.8	1	1	1	120
64	8.3	5.70	6.60	4.50	311.5	788.0	1	1	1	130
65	8.2	5.70	6.60	4.50	309.2	782.4	1	1	1	120
66	8.3	5.70	6.60	4.50	314.0	794.4	1	1	1	110
67	8.4	5.70	6.60	4.50	314.5	795.8	1	1	1	110
68	8.2	5.70	6.60	4.50	310.1	784.5	1	1	1	109
69	8.2	5.70	6.60	4.50	309.5	783.1	1	1	1	130
70	8.3	5.70	6.60	4.50	310.7	786.0	1	1	1	120
71	8.5	5.70	6.60	4.50	318.7	806.3	1	1	1	108
72	8.5	5.70	6.60	4.50	318.1	804.8	1	1	1	108
73	8.3	5.70	6.60	4.50	312.7	791.1	1	1	1	110
74	8.4	5.70	6.60	4.50	315.6	798.5	1	1	1	120
75	8.3	5.70	6.60	4.50	310.6	785.9	1	1	1	116
76	8.1	5.70	6.60	4.50	306.2	774.7	1	1	1	120
77	8.2	5.70	6.60	4.50	308.3	780.0	1	1	1	130
78	8.3	5.70	6.60	4.50	312.8	791.4	1	1	1	130
79	8.3	5.70	6.60	4.50	311.7	788.6	1	1	1	130
80	8.3	5.70	6.60	4.50	313.7	793.6	1	1	1	143
81	8.3	5.70	6.60	4.50	312.3	790.1	1	1	1	150
82	8.2	5.70	6.60	4.50	310.0	784.4	1	1	1	150
83	8.2	5.70	6.60	4.50	309.5	782.9	1	1	1	110
84	8.2	5.70	6.60	4.50	307.9	778.9	1	1	1	110
85	8.3	5.70	6.60	4.50	312.2	789.8	1	1	1	110
86	8.5	5.70	6.60	4.50	318.4	805.6	1	1	1	110

87	8.5	5.70	6.60	4.50	319.3	807.8	1	1	1	110
----	-----	------	------	------	-------	-------	---	---	---	-----

## Anexo 10

*Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del P3964 014*

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO		CARACTERÍSTICAS DEL TALADRO					MEDICIÓN DE TACO (m)					
PLACA	Procedencia	Taladro (ID)	Densidad inicial (g/cc)	Densidad de copa (g/cc)	Altura (m)	Carga (kg)	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20	Esponjamiento (m)
ASK.776	Chancay	114	1.316	1.130	8.3	110	5.80	5.60	5.50	5.40	5.30	0.50
ASK.776	Chancay	112	1.313	1.121	7.9	110	5.20	5.00	4.90	4.80	4.70	0.50
ASK.776	Chancay	102	1.299	1.000	8.1	120	5.20	4.70	4.60	4.50	4.50	0.70
ASK.776	Chancay	85	1.305	0.930	7.8	112	5.10	4.60	4.50	4.50	4.50	0.60
ASK.776	Chancay	86	1.299	0.930	7.5	115	4.60	4.00	3.90	3.90	3.90	0.70
ASK.776	Chancay	66	1.313	0.908	8.0	115	5.10	4.40	4.30	4.30	4.30	0.80
ASK.776	Chancay	50	1.309	0.906	8.1	116	5.20	4.50	4.40	4.40	4.40	0.80

## Anexo 11

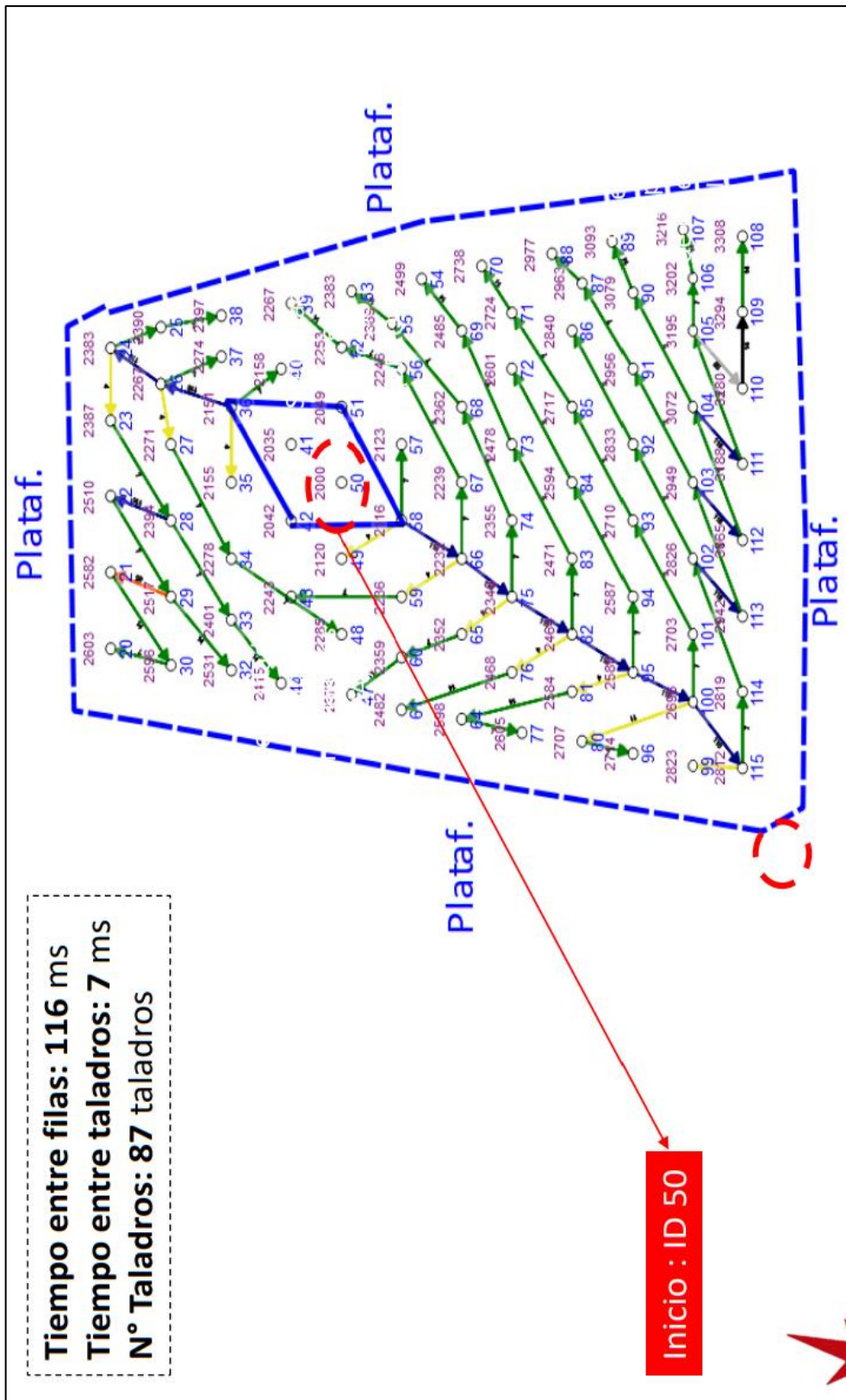
*Variación de la densidad en el tiempo P3964 014*

MMU	Procedencia	ID Taladro	TIPO	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20
ASK-776	Chancay	114	B	1.316	1.260	1.220	1.170	1.130
ASK-776	Chancay	112	B	1.313	1.260	1.190	1.149	1.121
ASK-776	Chancay	102	B	1.299	1.070	1.050	1.020	1.000
ASK-776	Chancay	85	B	1.305	0.952	0.930	0.930	0.930
ASK-776	Chancay	86	B	1.299	0.950	0.940	0.930	0.930
ASK-776	Chancay	66	B	1.313	0.924	0.908	0.908	0.908
ASK-776	Chancay	50	B	1.309	0.931	0.906	0.906	0.906



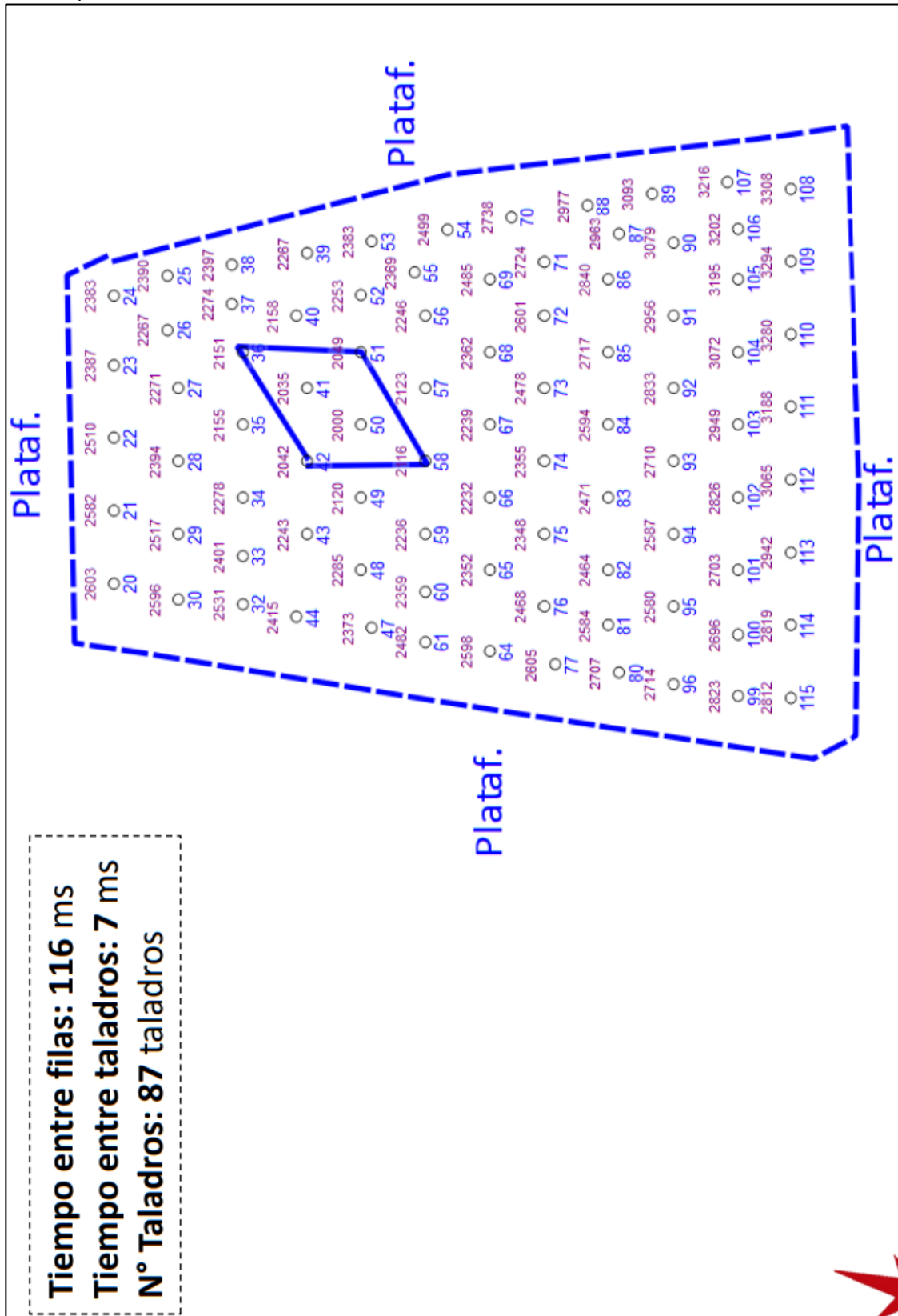
# Anexo 12

Diseño de secuencia P 3964 014



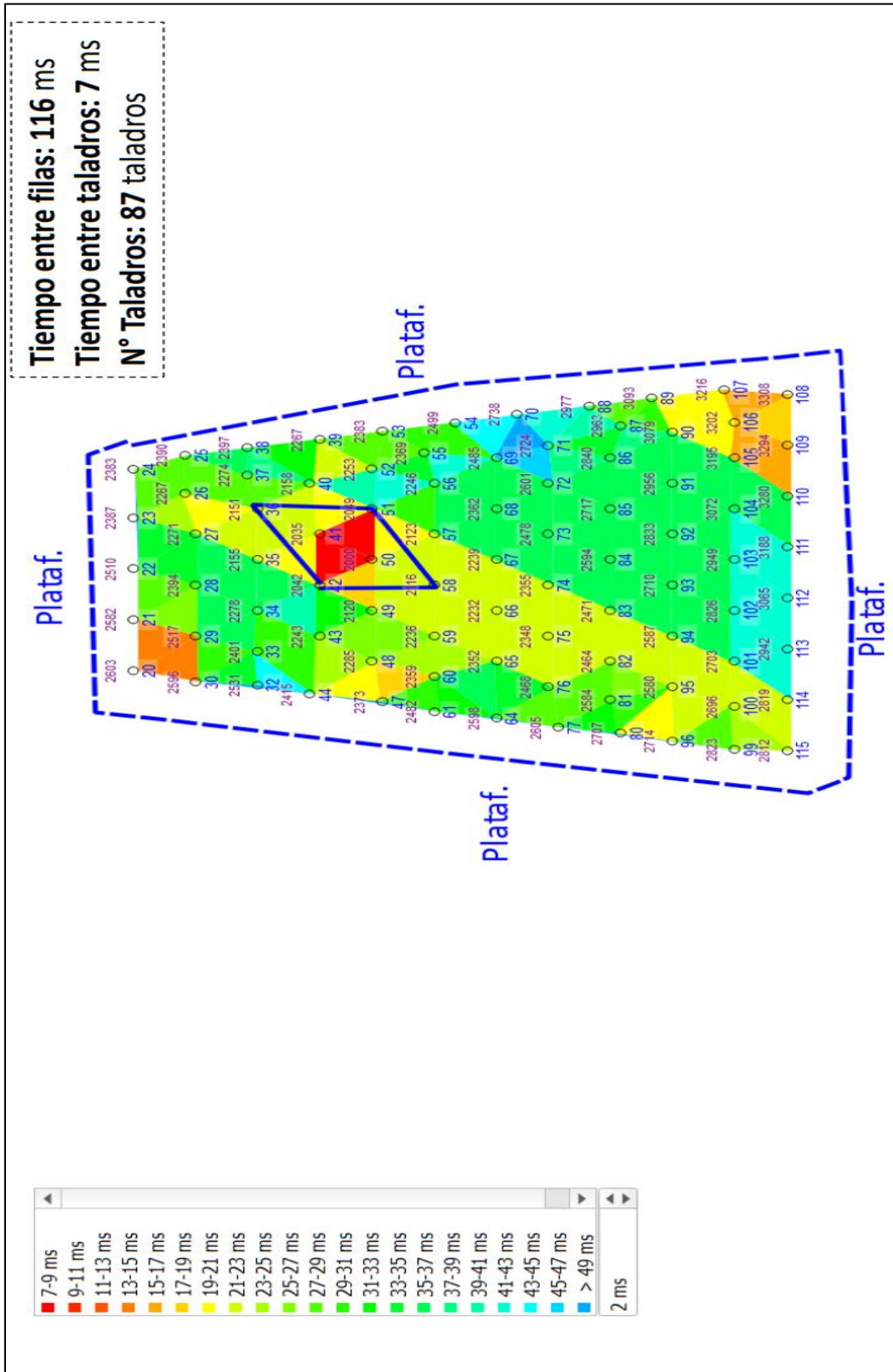
# Anexo 13

Retardo por taladros P 3964 014



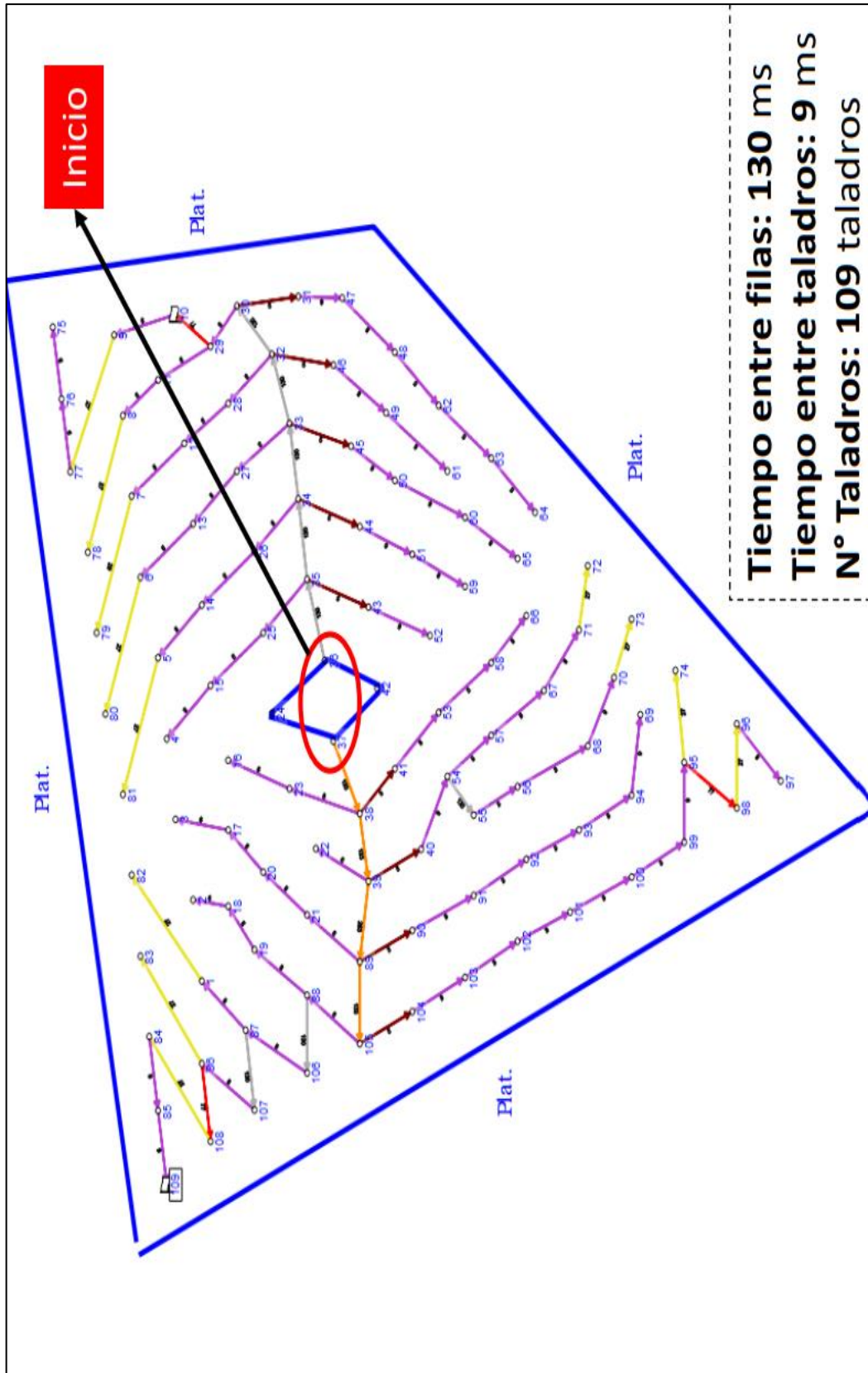
# Anexo 14

Burden de alivio P 3964 014



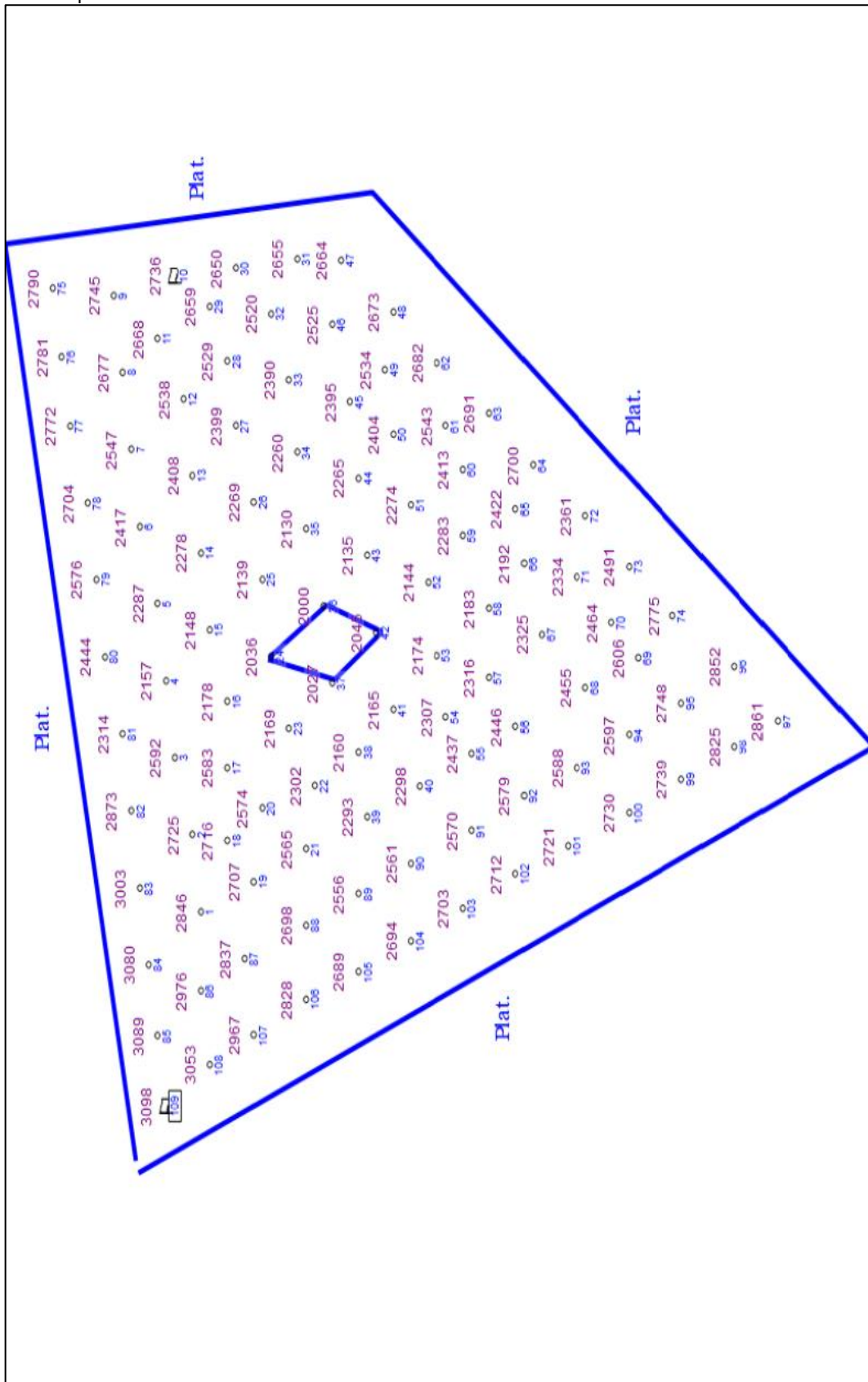
# Anexo 15

Diseño de secuencia P 3956 003



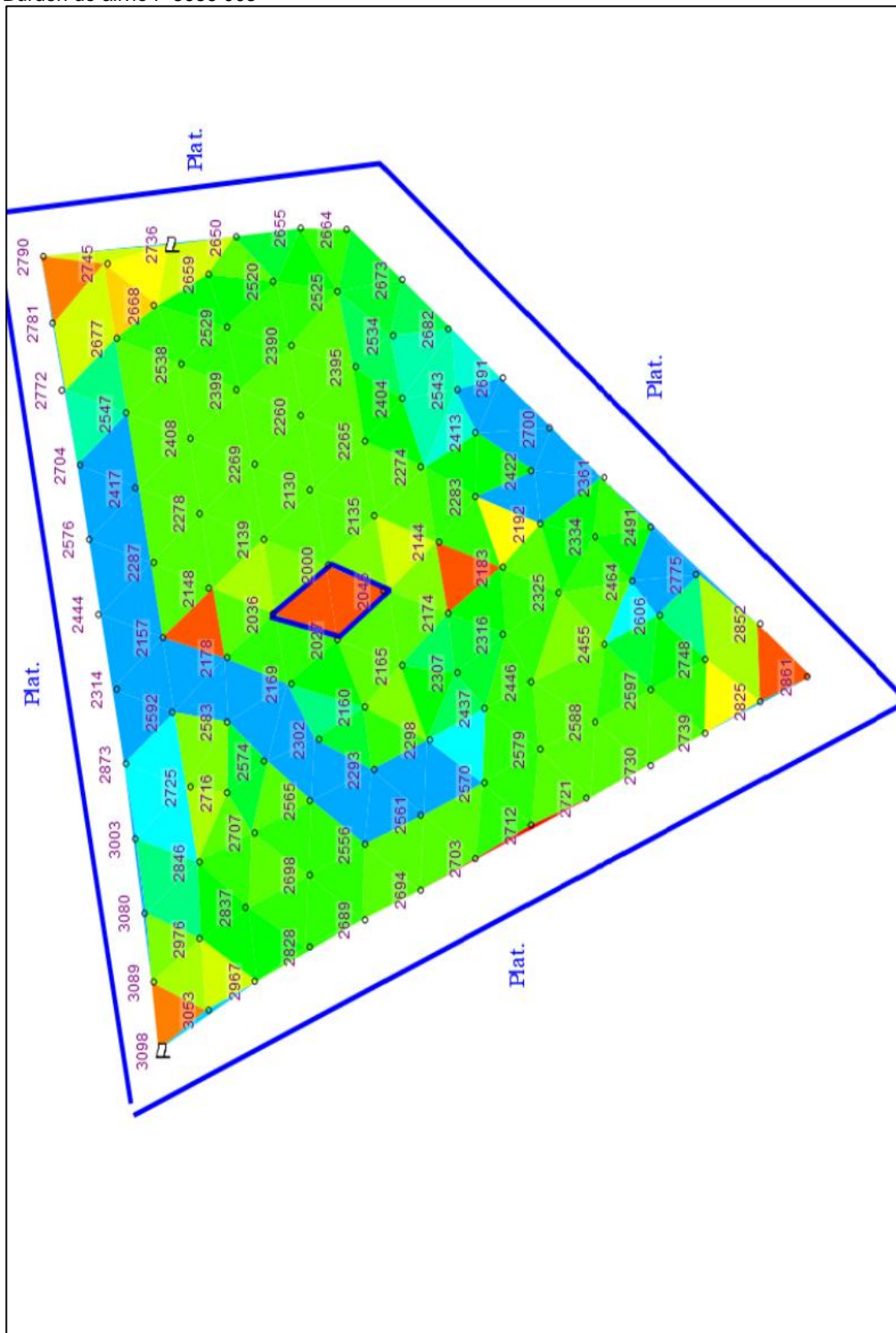
# Anexo 16

Retardo por taladros P 3956 003



# Anexo 17

Burden de alivio P 3956 003



## Anexo 18

Altura de taladro, accesorios y cantidad de emulsión por taladro del proyecto 3956 003

Taladro	H Real	B (m)	E (m)	taco final	m³	Toneladas	Booster (UND)	Intellishot 15 m (UND)	Nonel N°17 800ms P (UND)	Emulsión gasificada SANG-APU
1	8.9	6.30	7.20	4.00	404.5	1023.4	1	1	1	150
2	8.8	6.30	7.20	4.00	399.1	1009.8	1	1	1	150
3	8.8	6.30	7.20	4.00	400.2	1012.5	1	1	1	149
4	8.7	6.30	7.20	4.00	394.8	998.9	1	1	1	148
5	8.6	6.30	7.20	4.00	388.0	981.5	1	1	1	146
6	8.6	6.30	7.20	4.00	390.6	988.3	1	1	1	167
7	8.6	6.30	7.20	4.00	390.3	987.5	1	1	1	125
8	8.6	6.30	7.20	4.00	389.6	985.7	1	1	1	133
9	8.5	6.30	7.20	4.50	385.6	975.5	1	1	1	131
10	8.6	6.30	7.20	4.50	390.6	988.3	1	1	1	136
11	8.6	6.30	7.20	4.00	392.0	991.8	1	1	1	151
12	8.6	6.30	7.20	4.00	391.2	989.7	1	1	1	143
13	8.7	6.30	7.20	4.00	392.5	993.1	1	1	1	151
14	8.6	6.30	7.20	4.00	392.2	992.2	1	1	1	150
15	8.6	6.30	7.20	4.00	391.2	989.8	1	1	1	160
16	8.7	6.30	7.20	4.00	393.2	994.7	1	1	1	150
17	9.0	6.30	7.20	4.00	410.2	1037.9	1	1	1	150
18	8.8	6.30	7.20	4.00	400.6	1013.6	1	1	1	131
19	8.9	6.30	7.20	4.00	402.8	1019.2	1	1	1	150
20	8.9	6.30	7.20	4.00	401.6	1016.0	1	1	1	150
21	8.8	6.30	7.20	4.00	398.8	1009.0	1	1	1	150
22	8.7	6.30	7.20	4.00	396.9	1004.0	1	1	1	150
23	8.8	6.30	7.20	4.00	401.2	1015.1	1	1	1	135
24	8.7	6.30	7.20	4.00	392.9	994.1	1	1	1	143
25	8.7	6.30	7.20	4.00	393.3	995.0	1	1	1	143
26	8.7	6.30	7.20	4.00	395.1	999.6	1	1	1	150
27	8.8	6.30	7.20	4.00	398.1	1007.1	1	1	1	151
28	8.6	6.30	7.20	4.00	391.5	990.5	1	1	1	145
29	8.7	6.30	7.20	4.00	394.5	998.0	1	1	1	150
30	8.6	6.30	7.20	4.50	388.4	982.7	1	1	1	130
31	8.5	6.30	7.20	4.50	385.3	974.8	1	1	1	131
32	8.6	6.30	7.20	4.00	389.6	985.8	1	1	1	151
33	8.6	6.30	7.20	4.00	389.0	984.1	1	1	1	151
34	8.6	6.30	7.20	4.00	391.4	990.3	1	1	1	147

35	8.5	6.30	7.20	4.00	383.6	970.5	1	1	1	132
36	8.6	6.30	7.20	4.00	388.6	983.3	1	1	1	124
37	8.7	6.30	7.20	4.00	395.8	1001.4	1	1	1	144
38	8.7	6.30	7.20	4.00	396.8	1003.8	1	1	1	150
39	8.9	6.30	7.20	4.00	403.1	1019.8	1	1	1	149
40	8.8	6.30	7.20	4.00	398.7	1008.6	1	1	1	150
41	8.7	6.30	7.20	4.00	395.0	999.5	1	1	1	150
42	8.7	6.30	7.20	4.00	392.5	993.0	1	1	1	123
43	8.5	6.30	7.20	4.00	384.6	972.9	1	1	1	137
44	8.3	6.30	7.20	4.00	377.4	954.9	1	1	1	144
45	8.4	6.30	7.20	4.00	379.1	959.1	1	1	1	130
46	8.4	6.30	7.20	4.00	382.4	967.5	1	1	1	120
47	8.5	6.30	7.20	4.50	385.9	976.4	1	1	1	137
48	8.5	6.30	7.20	4.50	385.2	974.7	1	1	1	120
49	8.5	6.30	7.20	4.00	386.5	977.8	1	1	1	136
50	8.3	6.30	7.20	4.00	378.3	957.1	1	1	1	126
51	8.5	6.30	7.20	4.00	383.7	970.6	1	1	1	146
52	8.4	6.30	7.20	4.00	382.9	968.8	1	1	1	147
53	8.5	6.30	7.20	4.00	386.2	977.2	1	1	1	132
54	8.6	6.30	7.20	4.00	389.9	986.4	1	1	1	133
55	8.6	6.30	7.20	4.00	388.5	982.8	1	1	1	150
56	8.5	6.30	7.20	4.00	386.1	976.8	1	1	1	147
57	8.5	6.30	7.20	4.00	383.8	971.0	1	1	1	150
58	8.4	6.30	7.20	4.00	380.3	962.0	1	1	1	150
59	8.4	6.30	7.20	4.00	380.8	963.3	1	1	1	150
60	8.3	6.30	7.20	4.00	375.6	950.3	1	1	1	143
61	8.4	6.30	7.20	4.00	379.2	959.4	1	1	1	135
62	8.4	6.30	7.20	4.50	379.7	960.7	1	1	1	129
63	8.4	6.30	7.20	4.50	380.7	963.2	1	1	1	126
64	8.7	6.30	7.20	4.50	394.3	997.6	1	1	1	134
65	8.4	6.30	7.20	4.00	380.3	962.2	1	1	1	150
66	8.4	6.30	7.20	4.00	380.9	963.6	1	1	1	150
67	8.4	6.30	7.20	4.00	382.8	968.6	1	1	1	150
68	8.6	6.30	7.20	4.00	389.4	985.1	1	1	1	150
69	8.6	6.30	7.20	4.00	390.4	987.7	1	1	1	150
70	8.6	6.30	7.20	4.00	389.6	985.6	1	1	1	150
71	8.5	6.30	7.20	4.00	384.4	972.6	1	1	1	150
72	8.4	6.30	7.20	4.50	382.1	966.7	1	1	1	150



73	8.6	6.30	7.20	4.50	389.6	985.7	1	1	1	130
74	8.6	6.30	7.20	4.50	389.2	984.8	1	1	1	136
75	8.5	6.30	7.20	4.50	386.6	978.1	1	1	1	120
76	8.6	6.30	7.20	4.50	389.5	985.5	1	1	1	130
77	8.6	6.30	7.20	4.50	389.5	985.5	1	1	1	131
78	8.7	6.30	7.20	4.50	396.4	1002.8	1	1	1	140
79	8.8	6.30	7.20	4.50	397.9	1006.7	1	1	1	148
80	8.7	6.30	7.20	4.50	392.7	993.5	1	1	1	120
81	8.7	6.30	7.20	4.50	393.3	995.1	1	1	1	134
82	8.9	6.30	7.20	4.50	403.7	1021.5	1	1	1	131
83	8.9	6.30	7.20	4.50	404.5	1023.4	1	1	1	130
84	8.8	6.30	7.20	4.50	398.8	1009.0	1	1	1	131
85	8.9	6.30	7.20	4.50	401.5	1015.7	1	1	1	132
86	8.9	6.30	7.20	4.00	402.7	1018.7	1	1	1	150
87	9.0	6.30	7.20	4.00	408.5	1033.4	1	1	1	150
88	8.9	6.30	7.20	4.00	405.7	1026.4	1	1	1	150
89	8.7	6.30	7.20	4.00	394.4	997.8	1	1	1	150
90	8.7	6.30	7.20	4.00	394.2	997.3	1	1	1	148
91	8.6	6.30	7.20	4.00	391.9	991.5	1	1	1	150
92	8.6	6.30	7.20	4.00	387.8	981.2	1	1	1	150
93	8.6	6.30	7.20	4.00	388.1	981.9	1	1	1	140
94	8.7	6.30	7.20	4.00	394.5	998.0	1	1	1	132
95	8.7	6.30	7.20	4.00	394.1	997.2	1	1	1	150
96	8.6	6.30	7.20	4.50	388.6	983.2	1	1	1	130
97	8.6	6.30	7.20	4.50	388.5	982.9	1	1	1	120
98	8.5	6.30	7.20	4.50	385.1	974.2	1	1	1	131
99	8.6	6.30	7.20	4.50	390.1	987.1	1	1	1	130
100	8.6	6.30	7.20	4.50	391.9	991.5	1	1	1	137
101	8.7	6.30	7.20	4.50	393.6	995.9	1	1	1	131
102	8.7	6.30	7.20	4.50	392.7	993.5	1	1	1	134
103	8.7	6.30	7.20	4.50	392.9	993.9	1	1	1	129
104	8.8	6.30	7.20	4.50	397.3	1005.2	1	1	1	131
105	8.7	6.30	7.20	4.50	394.5	998.2	1	1	1	133
106	8.9	6.30	7.20	4.50	404.2	1022.5	1	1	1	132
107	8.9	6.30	7.20	4.50	403.6	1021.0	1	1	1	150
108	8.8	6.30	7.20	4.50	401.3	1015.2	1	1	1	133
109	8.8	6.30	7.20	4.50	398.7	1008.6	1	1	1	131

## Anexo 19

Características del producto y medición de taco en función al esponjamiento de la emulsión del proyecto 3956 003

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO		CARACTERÍSTICAS DEL TALADRO					MEDICIÓN DE TACO (m)					
PLACA	Procedencia	Taladro (ID)	Densidad inicial (g/cc)	Densidad de copa (g/cc)	Altura (m)	Carga (kg)	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20	Esponjamiento (m)
AHM-792	Chancay	33	1.29	1.021	8.0	151	4.70	4.50	4.30	4.17	4.00	0.60
AHM-792	Chancay	32	1.285	1.008	8.2	151	4.60	4.50	4.30	4.19	4.00	0.60
AHM-792	Chancay	36	1.32	1.017	7.5	124	4.40	4.25	4.15	4.00	3.90	0.60
AHM-792	Chancay	37	1.31	1.021	7.8	144	4.60	4.40	4.25	4.10	4.00	0.60

## Anexo 20

Variación de la densidad del proyecto 3956 003

MMU	Procedencia	ID Taladro	TIPO	t = 0	t = 5	t = 10	t = 15	t = 20
AHM-792	Chancay	33	B	1.290	1.129	1.063	1.037	1.021
AHM-792	Chancay	32	B	1.285	1.076	1.025	1.019	1.008
AHM-792	Chancay	36	B	1.320	1.117	1.067	1.032	1.017
AHM-792	Chancay	37	B	1.310	1.080	1.055	1.038	1.021