

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Uso de la tecnología de emulsión a granel en minería subterránea
para la mejora de los indicadores**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Alvino Fabian Flores

 [0009-0008-9799-596X](https://orcid.org/0009-0008-9799-596X)

Asesor

MBA. Eder Leon Salazar Dulanto

 [0000-0002-1400-3144](https://orcid.org/0000-0002-1400-3144)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Fabian Flores [1]
Referencia/Reference	[1] A. Fabian Flores, “Uso de la tecnología de emulsión a granel en minería subterránea para la mejora de los indicadores” [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Fabian, 2025)
Referencia/Reference	Fabian, A. (2025). <i>Uso de la tecnología de emulsión a granel en minería subterránea para la mejora de los indicadores</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre. Esta tesis es el resultado de tu apoyo incondicional y sacrificio en cada paso de mi etapa universitaria. Gracias por acompañarme en momentos complicados y motivarme siempre a seguir adelante, tus palabras de aliento, tu perseverancia y tu ejemplo constante han sido mi inspiración. Estoy muy agradecido porque creíste en mí y en cada paso que di en este camino. Gracias a tus enseñanzas e inculcarme valores dejaste huellas imborrables y mi éxito profesional es evidencia de tu dedicación. La dedicación de esta tesis es la forma de agradecerte por todo lo que hiciste por mí.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a la Universidad Nacional de Ingeniería por haberme dado la oportunidad de formarme profesionalmente, a cada docente de la universidad que me impartieron sus conocimientos los cuales sirvieron como base para desenvolverse profesionalmente en la industria minera. A cada empresa que me dio la oportunidad de desempeñarme profesionalmente. A mis hermanos que creyeron en mí y siempre estuvieron motivándome y al pilar más importante en mi vida, mi familia, mi esposa e hijos que son mi motivación para crecer día a día profesionalmente y personalmente, gracias infinitas por su paciencia.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal mejorar los resultados de voladura e indicadores de productividad mediante la implementación de emulsión a granel en labores subterráneas. La hipótesis planteada sostiene que el uso adecuado de esta tecnología permite obtener mejores resultados en los indicadores técnicos, económicos y operativos.

Durante el periodo de evaluación, se logró una rotura efectiva de 81,105 toneladas de mineral en labores de producción y un avance de 24.9 metros con 1,454 toneladas en desarrollo, reflejando una ejecución eficiente del ciclo minero. Los resultados técnicos obtenidos incluyen un valor promedio de P80 de 5.02 pulgadas, cumpliendo con los estándares de fragmentación establecidos por mina, y un factor de carga promedio de 0.55 kg/Tn, demostrando una dosificación óptima del explosivo.

Asimismo, se alcanzó un costo promedio de 0.797 USD/tonelada rota, lo que evidencia la competitividad de esta tecnología frente a alternativas convencionales. El uso de densidades diferenciadas (1.10 g/cc en taladros centrales y 0.90 g/cc en contornos) contribuyó significativamente al control del daño en frentes de trabajo, mientras que las Vibraciones Particulares de Partícula (VPP) se mantuvieron por debajo de los límites críticos, asegurando la integridad del macizo rocoso.

En conjunto, la implementación de emulsión a granel demostró una mejora significativa en los indicadores de producción, fragmentación, costos y seguridad, consolidándose como una alternativa eficaz para incrementar la productividad, reducir riesgos operativos y mejorar la sostenibilidad en minería subterránea.

Palabras clave - Emulsión a granel, voladura, VPP, productividad, explosivos.

Abstract

The main objective of this research work is to improve blasting results and productivity indicators through the implementation of bulk emulsion in underground mining operations. The proposed hypothesis states that the proper use of this technology enables better outcomes in technical, economic, and operational indicators.

During the evaluation period, an effective breakage of 81,105 tons of ore was achieved in production operations, along with 24.9 meters of advance and 1,454 tons in development, reflecting efficient execution of the mining cycle. The technical results obtained include an average P80 value of 5.02 inches, meeting the fragmentation standards established by the mine, and an average powder factor of 0.55 kg/ton, demonstrating optimal explosive dosing.

In addition, an average cost of 0.797 USD per ton of broken ore was achieved, highlighting the competitiveness of this technology compared to conventional alternatives. The use of differentiated densities (1.10 g/cc in central blast holes and 0.90 g/cc in contour holes) significantly contributed to damage control at work fronts, while Peak Particle Velocity (PPV) measurements remained below critical thresholds, ensuring the integrity of the rock mass.

Overall, the implementation of bulk emulsion technology demonstrated a significant improvement in production, fragmentation, cost, and safety indicators, establishing itself as an effective alternative to increase productivity, reduce operational risks, and enhance sustainability in underground mining.

Keywords - Bulk emulsion, blasting, PPV, productivity, explosives.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	xiv
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivo	2
1.4 Hipótesis	2
1.5 Operacionalización de variables	2
1.5.1 Variable independiente (V.I)	2
1.5.2 Variable dependiente (V.D)	2
1.6 Antecedentes referenciales	3
1.6.1 Antecedentes internacionales	3
1.6.2 Antecedentes nacionales	4
1.6.3 Antecedentes locales	5
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	7
2.1 Marco Teórico	7
2.1.1 Tecnología de los explosivos	7
2.1.2 Emulsiones	8
2.1.3 Estabilidad de emulsiones	11
2.2 Marco conceptual	14
2.2.1 Sensibilización	14
2.2.2 Mezcla	15
2.2.3 Energía	15
2.2.4 Estabilidad	15
2.2.5 Fragmentación	15

2.2.6 Rendimiento	15
2.2.7 Seguridad.....	15
2.2.8 Indicadores	16
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	17
3.1 Recolección de datos	17
3.1.1 Unidad de estudio	17
3.1.2 Proyectos de voladura.....	20
3.2 Procesamiento de la información	21
3.2.1 Voladuras realizadas – Producción	21
3.2.2 Voladuras realizadas – Avance	47
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	62
4.1 Análisis de resultados	62
4.1.1 Resultados de indicadores – Producción.....	62
4.1.2 Resultados de indicadores – Avance	65
4.1.3 Consumo, volumen roto y avance ejecutado	69
4.2 Validación de hipótesis.....	70
Conclusiones	72
Recomendaciones	74
Referencias bibliográficas.....	75
Anexos	77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 : Matriz de consistencia.....	3
Tabla 2 : Proyectos de voladura	21
Tabla 3 : Datos de campo – TJ590 – NV4055.....	21
Tabla 4 : Datos de carguío y voladura – TJ590 – NV4055	22
Tabla 5 : Resultados de voladura – TJ590 – NV4055	23
Tabla 6 : Datos de campo – TJ1434N – NV3952	24
Tabla 7 : Datos de carguío y voladura – TJ1434N – NV3952.....	24
Tabla 8 : Resultados de voladura – TJ1434N – NV3952.....	26
Tabla 9 : Datos de campo – TJ978S – NV4152	27
Tabla 10: Datos de carguío y voladura – TJ978S – NV4152.....	27
Tabla 11: Resultados de voladura – TJ978S – NV4152.....	29
Tabla 12: Datos de campo – TJ1434N – NV3952	30
Tabla 13: Datos de carguío y voladura – TJ1434N – NV3952.....	30
Tabla 14: Resultados de voladura – TJ1434N – NV3952.....	32
Tabla 15: Datos de campo – TJ1518S – NV3922	33
Tabla 16: Datos de carguío y voladura – TJ1518S – NV3922.....	33
Tabla 17: Resultados de voladura – TJ1518S – NV3922.....	35
Tabla 18: Datos de campo – TJ790N – NV3988.....	36
Tabla 19: Datos de carguío y voladura – TJ790N – NV3988.....	36
Tabla 20: Resultados de voladura – TJ790N – NV3988.....	38
Tabla 21: Datos de campo – TJ565N – NV4055	39
Tabla 22: Datos de carguío y voladura – TJ565N – NV4055.....	39
Tabla 23: Resultados de voladura – TJ565N – NV4055.....	41
Tabla 24: Datos de campo – TJ690 – NV4085.....	42
Tabla 25: Datos de carguío y voladura – TJ690 – NV4085	42
Tabla 26: Resultados de voladura – TJ690 – NV4085	44

Tabla 27: Datos de campo – TJ1574S – NV3892	45
Tabla 28: Datos de carguío y voladura – TJ1574S – NV3892.....	45
Tabla 29: Resultados de voladura – TJ1574S – NV3892.....	47
Tabla 30: Datos de campo – VE840 – NV4022.....	48
Tabla 31: Datos de carguío y voladura – VE840 – NV4022	48
Tabla 32: Resultados de voladura – VE840 – NV4022	49
Tabla 33: Datos de campo – GL607 – NV4022.....	50
Tabla 34: Datos de carguío y voladura – GL607 – NV4022	50
Tabla 35: Resultados de voladura – GL607 – NV4022	51
Tabla 36: Datos de campo – VE7877 – NV4055.....	52
Tabla 37: Datos de carguío y voladura – VE7877 – NV4055	52
Tabla 38: Resultados de voladura – VE7877 – NV4055	53
Tabla 39: Datos de campo – GL7865 – NV4055.....	54
Tabla 40: Datos de carguío y voladura – GL7865 – NV4055	54
Tabla 41: Resultados de voladura – GL7865 – NV4055	55
Tabla 42: Datos de campo – VE7726 – NV4058.....	56
Tabla 43: Datos de carguío y voladura – VE7726 – NV4058	56
Tabla 44: Resultados de voladura – VE7726 – NV4058	57
Tabla 45: Datos de campo – RP346 – NV4022.....	58
Tabla 46: Datos de carguío y voladura – RP346 – NV4022	58
Tabla 47: Resultados de voladura – RP346 – NV4022	59
Tabla 48: Datos de campo – VE7865 – NV4055.....	60
Tabla 49: Datos de carguío y voladura – VE7865 – NV4055	60
Tabla 50: Resultados de voladura – VE7865 – NV4055	61
Tabla 51: Resultados de factor de carga – Producción.....	62
Tabla 52: Resultados de fragmentación – Producción	63
Tabla 53: Resultados de costo por tonelada – Producción	64
Tabla 54: Resultados de factor de carga – Avance.....	65

Tabla 55: Resultados de avance efectivo – Avance	66
Tabla 56: Resultados de costo de explosivo por metro – Avance	67
Tabla 57: Resultados de factor de avance – Avance	68
Tabla 58: Consumo y volumen roto – Producción.....	69
Tabla 59: Consumo y avance ejecutado – Avance	69
Tabla 60: Resumen de mejora en indicadores	70

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Estructura emulsión explosiva y componentes.....	9
Figura 2: Diagrama de preparación emulsiones explosivas	11
Figura 3: Proceso de desestabilización de la emulsión	12
Figura 4: Ubicación de mina Marcapunta Norte	17
Figura 5: Producción de mineral y ley de cabeza de mina Marcapunta Norte	18
Figura 6: Reservas y recursos de mina Marcapunta Norte	19
Figura 7: Producción de cobre de mina Marcapunta Norte	20
Figura 8: Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 01)	22
Figura 9: Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 02)	23
Figura 10: Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 03)	23
Figura 11: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 01).....	25
Figura 12: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 02).....	25
Figura 13: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 03).....	26
Figura 14: Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 01).....	28
Figura 15: Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 02).....	28
Figura 16: Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 03).....	29
Figura 17: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 01).....	31
Figura 18: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 02).....	31
Figura 19: Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 03).....	32
Figura 20: Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 01).....	34
Figura 21: Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 02).....	34
Figura 22: Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 03).....	35
Figura 23: Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 01).....	37
Figura 24: Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 02).....	37
Figura 25: Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 03).....	38
Figura 26: Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 01).....	40

Figura 27: Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 02).....	40
Figura 28: Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 03).....	41
Figura 29: Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 01)	43
Figura 30: Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 02)	43
Figura 31: Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 03)	44
Figura 32: Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 01).....	46
Figura 33: Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 02).....	46
Figura 34: Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 03).....	47
Figura 35: Ensayo de campo – VE840 – NV4022 (vaso 01)	49
Figura 36: Ensayo de campo – GL607 – NV4022 (vaso 01)	51
Figura 37: Ensayo de campo – VE7877 – NV4055 (vaso 01)	53
Figura 38: Ensayo de campo – GL7865 – NV4055 (vaso 01)	55
Figura 39: Ensayo de campo – VE7726 – NV4058 (vaso 01)	57
Figura 40: Ensayo de campo – RP346 – NV4022 (vaso 01)	59
Figura 41: Ensayo de campo – VE7865 – NV4055 (vaso 01)	61
Figura 42: Resultados de factor de carga – Producción.....	62
Figura 43: Resultados de fragmentación – Producción	63
Figura 44: Resultados de costo por tonelada – Producción	64
Figura 45: Resultados de factor de carga – Avance.....	65
Figura 46: Resultados de avance efectivo – Avance.....	66
Figura 47: Resultados de costo de explosivo por metro – Avance	67
Figura 48: Resultados de factor de avance – Avance	68
Figura 49: Prueba t de una muestra – Fragmentación	70
Figura 50: Prueba t de una muestra – Costo de explosivo por tonelada	71

Introducción

La investigación se desarrolla a lo largo de cuatro capítulos que estructuran de manera lógica el enfoque, desarrollo y análisis de los resultados obtenidos.

En el Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, los objetivos, la hipótesis general, las variables de estudio, así como los antecedentes referenciales que sustentan la relevancia del tema.

El Capítulo II aborda el marco teórico relacionado a la tecnología de explosivos, las propiedades y comportamiento de las emulsiones a granel, su estabilidad, sensibilización y dosificación, además del marco conceptual que define los términos clave involucrados en la investigación.

El Capítulo III describe la unidad de estudio y detalla la ejecución de un conjunto de voladuras controladas: nueve voladuras en labores de producción (SLS) y siete en labores de avance, así como los parámetros aplicados y los resultados observados en campo.

Finalmente, el Capítulo IV se centra en el análisis de los resultados post-voladura, evaluando indicadores como el factor de carga, la fragmentación (P80), el costo por tonelada en producción, y en desarrollo, el avance efectivo, el factor de carga y el costo por metro, además del consumo específico por volumen roto. Asimismo, se realiza la validación de la hipótesis mediante la prueba estadística t-student, lo cual aporta solidez técnica al análisis.

Este trabajo concluye con un conjunto de conclusiones y recomendaciones orientadas a mejorar la aplicación de emulsiones a granel en operaciones subterráneas, reforzando su aporte al cumplimiento de metas de producción y optimización de recursos en la industria minera.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

La minería subterránea enfrenta continuamente el desafío de optimizar sus procesos para lograr una mayor eficiencia operativa, productividad y sostenibilidad. Uno de los aspectos críticos en esta búsqueda de mejora es la etapa de perforación y voladura, ya que impacta directamente en la fragmentación del macizo rocoso, el rendimiento de carguío y acarreo, y los costos asociados al ciclo de minado. En este contexto, la incorporación de tecnologías modernas como la emulsión a granel representa una alternativa técnica y económicamente viable para lograr mejores resultados en comparación con los explosivos convencionales.

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar el impacto del uso de la tecnología de emulsión a granel en los indicadores clave del proceso de voladura en minería subterránea, específicamente en labores de producción bajo el método Sublevel Stopping (SLS) y en labores de desarrollo.

1.2 Descripción del problema de investigación

Los resultados deficientes reportados constantemente en las labores lineales como galerías rampas subniveles niveles etc., generan el incremento de costos operativos. (Fuente: Guerra, R. 2016)

La sobre excavación en los contornos de las labores lineales como rampa, galería y sub niveles generan condiciones subestándares generando techos y hastiales inestables para ello se utiliza en mayor proporción los elementos de sostenimiento e incrementando el ciclado de los equipos de limpieza y extracción por todo lo mencionado se incrementa los costos operativos considerablemente. (Fuente: Valdivia, T. 2022)

De acuerdo a la tesis “Mejora de los rendimientos de avance por disparo en la Cía. Minera Chungar S.A.C.” (Ayuque Carrera Marco Antonio) (2020), El consumo excesivo de los aceros de perforación, explosivos, horas máquina, horas hombre y otros materiales, hacen de este proceso el más complejo en minería subterránea.

La utilización de variedades de explosivos con diferentes dimensiones y potencias genera demora y confusión en el personal al momento de realizar el carguío de los taladros siendo uno de los factores por lo que se da deficiencia de los avances por cada disparo.

El carguío manual de explosivos en taladros de labores de desarrollo genera un sobre costo a las operaciones unitarias por las demoras, además durante el carguío manual se generan condiciones subestándares de trabajo por la cual el personal se encuentra expuesto. (Fuente: Ayuque, M. 2020).

En el tema logístico la necesidad de contar con infraestructura y estándares para el almacenamiento y traslado de explosivos genera costo adicional a las operaciones.

Por ello se formula el siguiente problema:

¿En qué medida el inadecuado diseño de carga y selección de explosivo impacta en malos resultados de disparos e indicadores?

1.3 Objetivo

Mejorar los resultados de voladura e indicadores de productividad con la tecnología de emulsión a granel.

1.4 Hipótesis

El uso adecuado de tecnología de emulsión a granel permitirá obtener mejores resultados en indicadores de productividad

1.5 Operacionalización de variables

1.5.1 Variable independiente (V.I)

- X: Emulsión a granel.
 - Diseño de carga de explosivo.

1.5.2 Variable dependiente (V.D)

- Y: Indicadores.
 - Factor de carga (kg/tn).
 - Fragmentación P80 (in).
 - Costo de explosivo por tonelada rota (US\$/tn).

- Avance efectivo (m).
- Costo de explosivo por metro (US\$/m).

Tabla 1

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES
¿En qué medida el inadecuado diseño de carga y selección de explosivo impacta en malos resultados de disparos e indicadores?	Mejorar los resultados de voladura e indicadores de productividad con la tecnología de emulsión a granel.	El uso adecuado de tecnología de emulsión a granel permitirá obtener mejores resultados en indicadores de productividad	X: Emulsión a granel	Y: Indicadores	Factor de carga (kg/tn).
					Fragmentación P80 (in).
					Costo de explosivo por tonelada rota (US\$/tn).
					Avance efectivo (m).
					Costo de explosivo por metro (US\$/m).

Fuente: Elaboración propia

1.6 Antecedentes referenciales

1.6.1 Antecedentes internacionales

Alcaíno, J. (2018), Uso de emulsión en el desarrollo horizontal del proyecto mina Chuquicamata subterránea. La investigación se centró en la implementación de emulsiones bombeables (Emultex PDBG) y encartuchadas (Emultex CN) en el proyecto de desarrollo de galerías en la mina subterránea Chuquicamata. Se realizó un análisis detallado del comportamiento del explosivo en diferentes tipos de frente, así como su desempeño en términos de velocidad de detonación, presión de detonación, eficiencia del disparo y fragmentación del material. La emulsión mostró una excelente adaptabilidad a las condiciones de perforación irregular y permitió una mejora sustancial en la continuidad del carguío. Además, al utilizar equipos de carguío mecanizado, se logró reducir en 40% el tiempo de exposición del personal en el frente. La mejora en la fragmentación también facilitó la carga y transporte posterior, aumentando la eficiencia global del ciclo minero.

Hernández, E. (2019), Estudio comparativo de la sobre-excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la Mina Esmeralda,

División El Teniente, CODELCO Chile. El estudio se basó en la recopilación de datos reales obtenidos en terreno, a partir de planos de disparo, perfiles de excavación, análisis de sobre-excavación (medidos mediante escaneo láser 3D) y rendimientos operativos. Los resultados mostraron que el uso de emulsión permitió reducir en promedio un 25% la sobre-excavación, gracias a su mayor densidad energética y mejor comportamiento de detonación en condiciones húmedas y confinadas. Además, la emulsión generó una fragmentación más controlada y homogénea del macizo rocoso, lo que facilitó las operaciones de carguío y transporte posterior. También se destacó la mejora en la seguridad operativa al minimizar la exposición del personal al explosivo durante el carguío. En términos económicos, si bien la emulsión presentó un costo por kilo mayor que el ANFO, la reducción en costos asociados a fortificación, sostenimiento y acarreo compensó ampliamente dicha diferencia, haciendo del sistema una alternativa más eficiente y sustentable para el desarrollo de labores subterráneas en roca dura.

1.6.2 Antecedentes nacionales

Guerra, R. (2013), Uso de emulsión gasificable para reducir costos de perforación-voladura en minería superficial y subterránea. El autor analiza los beneficios técnicos y económicos de utilizar emulsiones gasificables en comparación con explosivos convencionales como ANFO y dinamita. Se tomaron como casos de estudio tres operaciones mineras peruanas: Yauliyacu, Condestable y San Ignacio de Morococha. En todos los casos, se observó una reducción significativa de costos por metro perforado y disparado (entre 8% y 15%). También se registraron mejoras en la fragmentación del macizo rocoso, mayor homogeneidad del material volado, y reducción del rebote de taladros. La carga mecanizada y el uso de camiones fábrica permitieron reducir los tiempos de exposición del personal, elevando el estándar de seguridad. Se concluyó que la emulsión gasificable representa una alternativa rentable y técnica viable para operaciones subterráneas con restricciones geomecánicas.

Muñoz, M. (2020), Emulsión gasificada bombeable y su impacto en la productividad - Mina Huarón - Pan American Silver S.A. Este estudio se enfocó en cuantificar el impacto

de la emulsión gasificada bombeable sobre la productividad global del ciclo de minado en la Mina Huarón. Comparando con el sistema tradicional de uso de dinamita, se demostró que la emulsión redujo significativamente los tiempos de carguío (hasta un 45%) y mejoró la eficiencia en la fragmentación (incremento de 22% en la proporción de mineral con granulometría óptima). Asimismo, se observaron mejoras en la estabilidad de los frentes y una disminución de los eventos de sobrerotura. La automatización del proceso con camión fábrica también ayudó a disminuir los riesgos para los trabajadores y permitió una mejor gestión del inventario de explosivos. El análisis económico reveló una reducción de costos por tonelada extraída, contribuyendo directamente a una mayor rentabilidad operativa.

Valdivia, T. (2022), Factibilidad del uso de emulsión a granel en minería subterránea: resultados de pruebas Emultex PDBG. El estudio se desarrolló en la Unidad Minera Dacar y evaluó la factibilidad del uso de emulsión a granel Emultex PDBG en sustitución del ANFO en labores de desarrollo horizontal. Se realizaron pruebas comparativas considerando variables como el tiempo de carguío (disminuyó en promedio un 35%), la sobrerotura (reducción del 12%), la fragmentación (mejora del 18% en granulometría óptima) y los niveles de gases post-voladura (dentro de rangos aceptables, mejorando la ventilación). También se evidenció una mayor eficiencia de disparo debido a la mejor continuidad en el llenado de taladros. En términos económicos, se observó una reducción significativa en los costos indirectos por mejoras en tiempos de ciclo. El estudio concluyó con la implementación total del sistema de emulsión en las voladuras de desarrollo, recomendando su uso también en zonas de producción futura.

1.6.3 Antecedentes locales

Beraun, K. (2019), Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336 – Sociedad Minera El Brocal Colquijirca. Esta tesis compara el desempeño técnico y económico de dos tipos de explosivos: Heavy ANFO y emulsión gasificada Fortis Advantage 100, en las operaciones del tajo norte del nivel 4336 en la mina Colquijirca. Se evaluaron parámetros como la fragmentación de la roca, costos por

tonelada fragmentada, eficiencia operativa y aspectos de seguridad y medio ambiente. Los resultados indicaron que la emulsión gasificada proporcionó una fragmentación más uniforme y controlada, reduciendo la generación de material fino y mejorando la eficiencia en las etapas posteriores de carguío y transporte. Aunque el costo por kilogramo de la emulsión es superior al del ANFO, la mejora en la fragmentación y la reducción de costos operativos compensaron esta diferencia, resultando en una opción más eficiente y sostenible para la operación minera.

Zea, Y. et al (2021), Optimización de la granulometría en función de la voladura controlada en Mina Marcapunta Norte, Sociedad Minera El Brocal, Arequipa 2020. Este estudio se centró en mejorar la fragmentación del mineral mediante la aplicación de técnicas de voladura controlada en la Mina Marcapunta Norte. Se analizaron los efectos de diferentes parámetros de voladura en la granulometría del material fragmentado, buscando optimizar el tamaño de los fragmentos para facilitar las operaciones de carguío, transporte y procesamiento en la planta concentradora. Aunque la tesis no se enfoca exclusivamente en el uso de emulsiones a granel, se destaca la importancia de seleccionar adecuadamente los explosivos y diseñar las voladuras para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos asociados a la fragmentación inadecuada.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1 Marco Teórico

2.1.1 *Tecnología de los explosivos*

Los explosivos son sustancias capaces de liberar una gran cantidad de energía en forma de calor, luz, sonido y gases en un período extremadamente corto, a través de una reacción química rápida conocida como detonación o deflagración, dependiendo del tipo de explosivo. (Fuente: Famesa, 2020)

2.1.1.1 Clasificación de los explosivos. Los explosivos se clasifican según diferentes criterios:

Según la velocidad de reacción:

- Explosivos de alta velocidad (detonantes): Ej. dinamita, emulsiones, ANFO.
- Explosivos de baja velocidad (deflagrantes): Ej. pólvora negra.

Según su sensibilidad:

- Primarios: Muy sensibles; usados para iniciar otros explosivos (Ej. fulminato de mercurio).
- Secundarios: Menos sensibles; requieren un iniciador (Ej. TNT, ANFO, emulsiones).
- Terciarios: Requieren confinamiento y detonador potente (Ej. ANFO).

Según el estado físico:

- Sólidos: dinamita, TNT.
- Líquidos: nitroglicerina.
- Gelatinosos: geles explosivos.
- Semisólidos o emulsiones.

2.1.1.2 Propiedades importantes de los explosivos. (Fuente: Famesa, 2020), son las siguientes:

- Densidad:

Afecta la energía por volumen. Emulsiones pueden alcanzar 1.25 g/cm³ o más.

- Velocidad de detonación (VOD):

Es la velocidad a la que se propaga la onda de choque. En emulsiones, puede ser de 4,000–5,000 m/s.

- Energía específica:

Energía liberada por unidad de peso.

- Sensibilidad:

Capacidad para ser iniciados por calor, fricción o impacto.

- Estabilidad:

Capacidad para mantenerse sin degradarse durante su almacenamiento o uso.

- Resistencia al agua:

Fundamental en ambientes subterráneos húmedos.

2.1.2 Emulsiones

Una emulsión se considera, en términos generales, un sistema constituido por la dispersión de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles, en el que una de estas fases se encuentra distribuida de forma discontinua. La mayor parte de sus propiedades, tales como estabilidad, viscosidad, etc., dependen del tamaño de gota y de la distribución de tamaños de partícula, que abarca un intervalo bastante amplio, desde unos 10 nm hasta casi las 1000 nm, aunque es frecuente que esté comprendido entre 1 y 100 nm. (Fuente: Famesa, 2020)

Las emulsiones se clasifican según dos criterios.

El primero de acuerdo al tipo de fase dispersa:

- Aceite en agua (O/W): las gotitas de aceite se distribuyen en agua
- Agua en aceite (W/O): las gotitas de agua se distribuyen en aceite

El segundo criterio se basa en el tamaño de las gotitas de la fase dispersa:

- Macro emulsiones (0,2 - 0,5 μm)
- Micro emulsiones (0,01 - 0,2 μm)

Por otro lado, en la mayoría de los casos, las emulsiones se forman gracias a la presencia de uno o varios aditivos, agentes emulsionantes (normalmente agentes

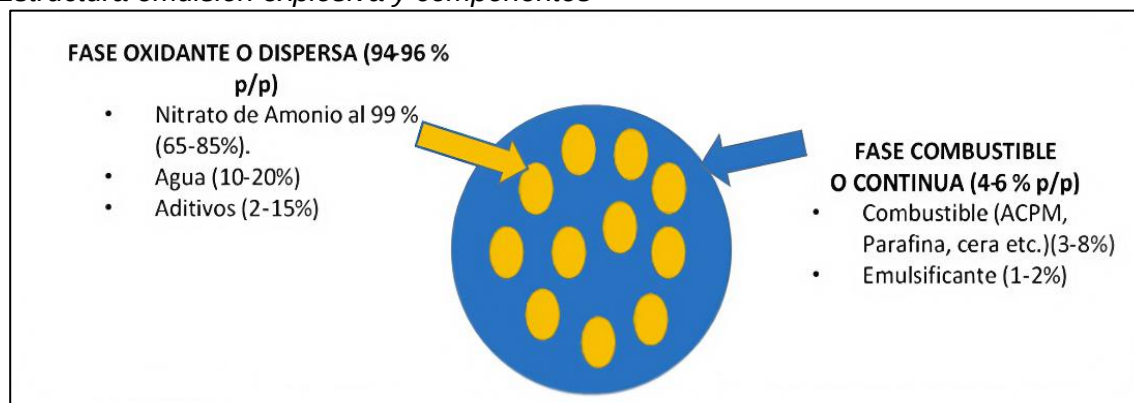
tensoactivos), capaces de disminuir la energía superficial en la interfase de las gotas producidas.

Se resume las principales propiedades de las emulsiones de la siguiente manera: son dispersiones de un líquido en otro en forma de gotas; son sistemas termodinámicamente inestables por lo que a corto o largo plazo tienden a la completa separación de fases ya que no se forman espontáneamente al mezclar las fases en equilibrio

2.1.2.1 Componentes de emulsión explosiva. La composición de una emulsión explosiva disponible comercialmente comprende una fase combustible o continua en la que la que se encuentra dispersa una fase oxidante o solución acuosa; y que en presencia de un tensoactivo permite la formación de una emulsión agua en aceite (W/O), el esquema de la distribución de los componentes de la emulsión explosiva se puede observar en la Figura 1. (Fuente: Calvo, A. 2019)

Figura 1

Estructura emulsión explosiva y componentes



Fuente: Calvo, A. (2019)

2.1.2.1.1 Fase continúa. La principal función del combustible es la de formar la fase continua en la emulsión, el porcentaje de esta en la emulsión suele variar entre el 4 al 10 %. Esta solución determinará el color y la proporción de la emulsión. Un factor importante que considerar para la formulación de la fase combustible, es la viscosidad por lo cual se debe seleccionar el tensoactivo más adecuado.

El tensoactivo se selecciona para promover una subdivisión de las gotitas de la fase oxidante y la dispersión de estas en la fase continua.

El cual forma una capa de revestimiento molecular en la superficie de las gotitas la cual permite reducir la degradación incipiente de la emulsión mediante la inhibición de la coalescencia y la aglomeración de las gotas.

Para la selección del combustible es importante que sea un líquido que fluya con facilidad para ayudar al proceso de emulsificación; y que sea estable a cambios de temperatura.

Los combustibles mayormente usados en emulsiones explosivas son: ACPM, parafina y aceite mineral. (Fuente: Calvo, A. 2019)

2.1.2.1.2 Fase dispersa. La fase dispersa la constituye una solución oxidante, compuesta por una sal oxidante y agua, su composición en la emulsión es superior al 90 % en peso. La función principal de la sal es la de suministrar el oxígeno para la explosión, así como permitir el aumento de la densidad de la emulsión.

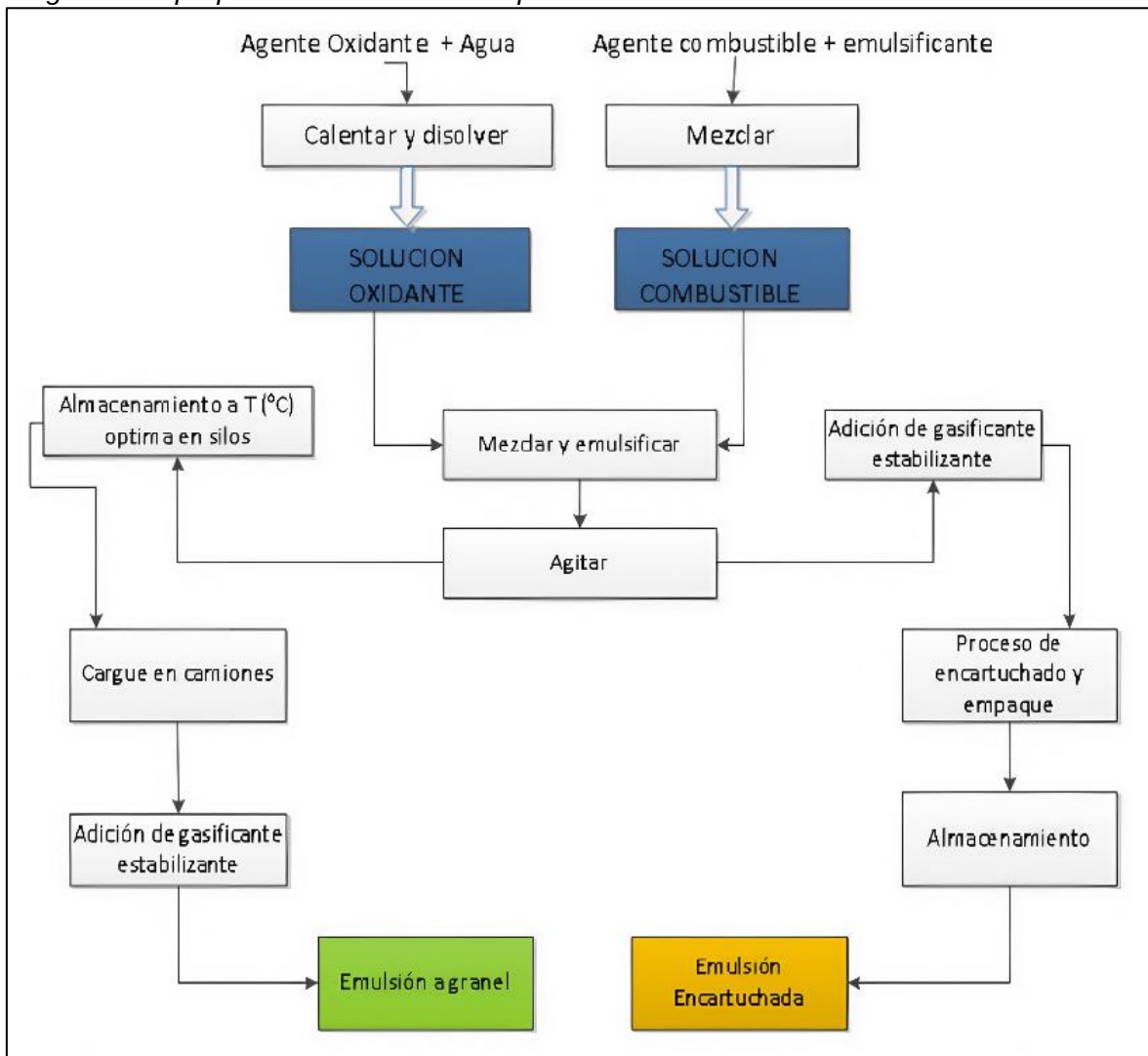
La densidad de los explosivos a base de nitrato de amonio usualmente se encuentra entre 0.8 a 0.95 g/cm³, mientras que la densidad de las emulsiones explosivas va de 1.05 a 1.35 y máximo 1.55 g/cm³.

Este aumento se debe a la mezcla de sales oxidantes con agua. (Fuente: Calvo, A. 2019)

2.1.2.1.3 Diagrama general preparación de emulsiones explosivas. En la Figura 2 se muestra el diagrama de preparación típico para los dos tipos de emulsión explosiva evaluados.

Figura 2

Diagrama de preparación emulsiones explosivas



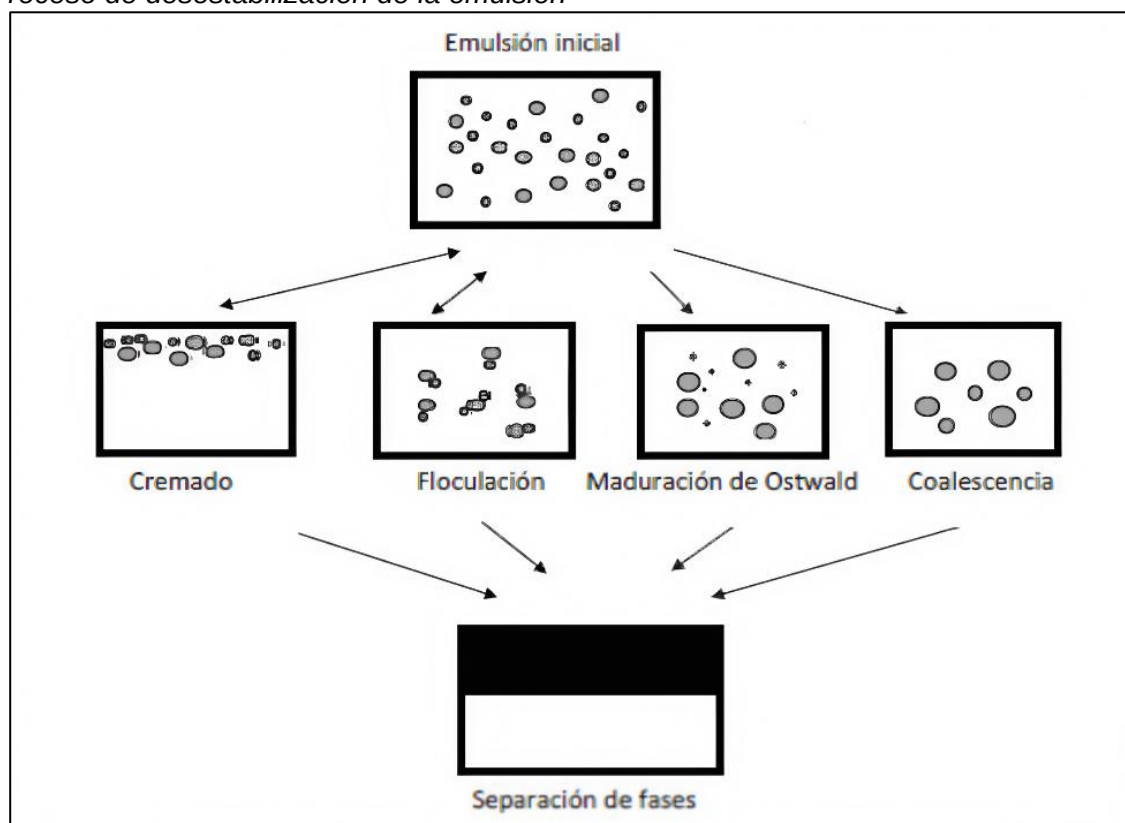
Fuente: Calvo, A. (2019)

2.1.3 Estabilidad de emulsiones

En términos generales la estabilidad de una emulsión depende de la naturaleza y concentración de sus componentes, éstas pueden permanecer estables por largos periodos, si se controlan las variables durante el proceso de preparación. Existen diversos mecanismos por los cuales se pueden desestabilizar las emulsiones, siendo los principales: cremado, floculación, maduración de Ostwald y coalescencia, según se puede apreciar en la Figura 3. (Fuente: Calvo, A. 2019)

Figura 3

Proceso de desestabilización de la emulsión



Fuente: Calvo A. (2019)

En la literatura se pueden encontrar diversos estudios sobre la estabilidad de emulsiones y procedimientos para evaluar la desestabilización. Después de algún tiempo, las emulsiones se desestabilizan como resultado del envejecimiento ya que el área total del sistema decrece, por esta razón el índice más importante de la estabilidad de emulsiones es la variación de la superficie. El proceso de ruptura de las emulsiones puede ocurrir por dos mecanismos de inestabilidad: La floculación es un proceso en el cual hay una adhesión de las gotas sin separarse, y la coalescencia es la formación de gotitas más grandes por la fusión de las gotas más pequeñas, con la consecuente ruptura de la película de interfase líquido/líquido. Este cambio requiere energía para restablecer la distribución de tamaño de partícula original. A pesar de que el proceso de inestabilidad debido a la coalescencia no se comprende en su totalidad, se cree que está relacionado con la permanencia de la capa de tensioactivo que estabiliza la emulsión. Dicho fenómeno se diferencia de la maduración de Ostwald, en que en la coalescencia ocurre una agregación

de gotas, mientras que, en la maduración de Ostwald, ocurre una difusión entre las gotas por la diferencia de solubilidad entre las gotas pequeñas y las gotas grandes.

Existen factores que aumentan la probabilidad de coalescencia como el espesor de la película, la distancia de separación y las fuerzas de interacción (van der Waals) entre las gotas. (Fuente: Calvo, A. 2019)

Existe una forma de evaluar la estabilidad de una emulsión por su rapidez de coalescencia, que comprende las siguientes mediciones:

2.1.3.1 Naturaleza física de la película interfacial de tensoactivo. Películas de alta elasticidad y fuerzas intermoleculares intensas son requisitos deseados en los tensoactivos para garantizar su estabilidad mecánica.

2.1.3.2 Viscosidad de la fase continuá. El coeficiente de difusión se reduce por el aumento de la viscosidad. La ecuación 1 representa la ecuación de Stoke-Einstein, la cual relaciona el movimiento de una partícula esférica a la viscosidad de la fase continua.

$$D = KT / 6\pi\eta r \quad (1)$$

Donde:

- D = Es el coeficiente de difusión
- K = Es la constante de Boltzmann,
- T = Es la temperatura absoluta
- η = Es la viscosidad
- r = Es el radio de una partícula esférica.

Una emulsión con una viscosidad mayor resultaría en un menor número de colisiones y, por tanto, una coalescencia inferior.

2.1.3.3 Temperatura. La temperatura tiene un efecto sobre la tensión interfacial, la solubilidad del agente tensoactivo, el movimiento browniano de las gotitas y la viscosidad del líquido. Al ser el proceso de coalescencia realmente lento en emulsiones estables, se hace difícil y tediosa la determinación de la velocidad de envejecimiento o desestabilización. La centrifugación de emulsiones (desde 1000 hasta 25000 veces la

aceleración de la gravedad g acelera el proceso de envejecimiento, haciendo posible, en una escala de tiempo aceptable, la determinación de la estabilidad de la emulsión.

Por otro lado, se encuentra el proceso de ruptura por floculación, el cual es la adhesión de las gotas sin fusionarse, produciendo una variación en la distribución de tamaño de gotas. El proceso de floculación está controlado por un equilibrio global entre las fuerzas de atracción electrostáticas de Van der Waals, y las fuerzas repulsivas o de hidratación. La predicción y control de la floculación se hace mediante la adición de agentes tensioactivos iónicos o del tipo electrolito. El efecto de las fuerzas atractivas de Van der Waals (G_A) en las gotas de la emulsión, causan su agregación; Hamaker propuso una expresión que relaciona las fuerzas de Van der Waals en función de una constante (A_{ef}) para dos gotas de igual radio (R) que están separadas por una distancia (h), que se muestra en la ecuación 2.

$$G_A = A_{ef} R^{12} h \quad (2)$$

Debido a que las emulsiones se comportan como coloides y las partículas de la fase dispersa en la fase continua están cargadas, estas se repelen unas a otras evitando así la aglomeración o floculación, a mayor carga más fuerte será la repulsión haciendo más estable la emulsión, por ello el potencial Z se podrá constituir como un recurso de evaluación de la estabilidad de una emulsión.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Sensibilización

Proceso mediante el cual una emulsión base, inicialmente insensible, es transformada en un explosivo mediante la incorporación de microesferas de vidrio o gasificación química.

Esta etapa es clave para garantizar una detonación controlada y segura, ya que permite mantener la mezcla estable hasta el momento del uso.

2.2.2 Mezcla

En el contexto de explosivos, se refiere a la combinación precisa de componentes oxidantes y combustibles para formar la emulsión. La homogeneidad y proporción de esta mezcla afectan directamente su energía de detonación, estabilidad y comportamiento en el terreno.

2.2.3 Energía

Corresponde a la cantidad de trabajo que el explosivo puede realizar. En una emulsión, la energía se mide en MJ/kg y determina la capacidad de fragmentación, desplazamiento de roca y eficiencia en el ciclo de minado. Las emulsiones modernas ofrecen alta densidad energética, lo que permite menores consumos por tonelada.

2.2.4 Estabilidad

Propiedad que indica la capacidad del explosivo para mantener sus características físico-químicas durante el almacenamiento, manipulación y carguío. Las emulsiones son altamente estables en condiciones normales de operación, lo que reduce significativamente el riesgo de accidentes.

2.2.5 Fragmentación

Resultado del proceso de voladura que determina el tamaño de los fragmentos de roca generados. Una buena fragmentación mejora el rendimiento de equipos de carguío y transporte, reduce el consumo de energía en la planta y optimiza los indicadores operativos globales.

2.2.6 Rendimiento

Se refiere a la eficiencia alcanzada en cada etapa del ciclo minero, desde la perforación y voladura hasta el transporte y procesamiento. La implementación de emulsiones a granel ha demostrado mejoras significativas en tiempos de carguío, avance por frente, y disminución de costos asociados a sostenimiento y acarreo.

2.2.7 Seguridad

El uso de emulsiones a granel incrementa los estándares de seguridad en minería subterránea, ya que se reduce la manipulación manual de explosivos y se automatiza gran

parte del proceso. Además, su baja sensibilidad antes de ser sensibilizadas las hace más seguras que otros tipos de explosivos.

2.2.8 Indicadores

Incluyen métricas como avance por disparo, factor de carga, costo por tonelada volada, eficiencia de fragmentación, entre otros. El uso de emulsiones a granel contribuye directamente a mejorar estos indicadores, haciendo la operación más rentable y sostenible.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Recolección de datos

3.1.1 Unidad de estudio

La presente investigación se desarrolla en la mina Marcapunta Norte perteneciente al grupo Buenaventura, ubicado en el distrito Tinyahuarco, provincia de Pasco y departamento de Pasco.

Se encuentra a 8 Km de la ciudad de Cerro de Pasco, a una altura de 4 280 m.s.n.m. y a 295 Km. de la ciudad de Lima. Las coordenadas UTM que posee son las siguientes:

- N 8 806 000 – N 8 812 500
- E 360 000 – E 362 000.

Figura 4

Ubicación de mina Marcapunta Norte



Fuente: Cía. Minas Buenaventura

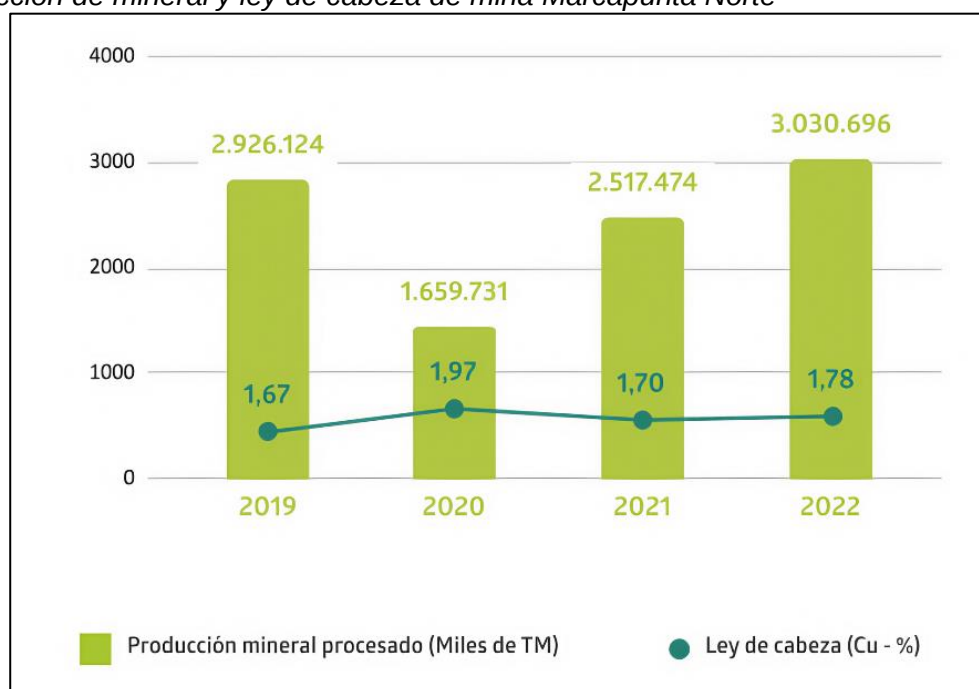
3.1.1.1 Mina. Marcapunta es una operación subterránea que explota minerales de cobre arsenical en el distrito de Colquijirca, provincia de Pasco, región Pasco. La mina forma parte de la Unidad de Producción Colquijirca, de Sociedad Minera El Brocal (61.43% BVN), empresa subsidiaria de Buenaventura.

Método de minado: Cámaras y pilares con taladros largos.

Proyecto 13K: Se incrementará la producción de la mina de 7,500 a 13,000 toneladas diarias. Este proyecto contará con los siguientes componentes: construcción de un túnel de 1.3 km, extensión de sistemas de ventilación con 6 chimeneas adicionales de 3m de diámetro, instalación de una chancadora móvil y una chancadora terciaria en la planta 1 de cobre. De esta manera se espera alcanzar una producción de 55,000 toneladas de cobre fino.

Figura 5

Producción de mineral y ley de cabeza de mina Marcapunta Norte



Fuente: Cía. Minas Buenaventura

3.1.1.2 Geología. En Marcapunta Norte la mineralización es estratiforme, tanto en los mantos mineralizados, que se emplazan en las calizas de la formación Calera Medio, como en las brechas mineralizadas que se ubican en la unidad inferior de la misma formación. La mena consta de un reemplazamiento masivo de sulfuros y relleno de

espacios abiertos, por lo cual está considerada como un yacimiento cordillerano ligado al complejo volcánico Marcapunta. La mineralización consiste en una mena de cobre arsenical (enargita) con valores de Ag-Au y como ganga se tiene pirita, cuarzo y alunita.

Figura 6

Reservas y recursos de mina Marcapunta Norte



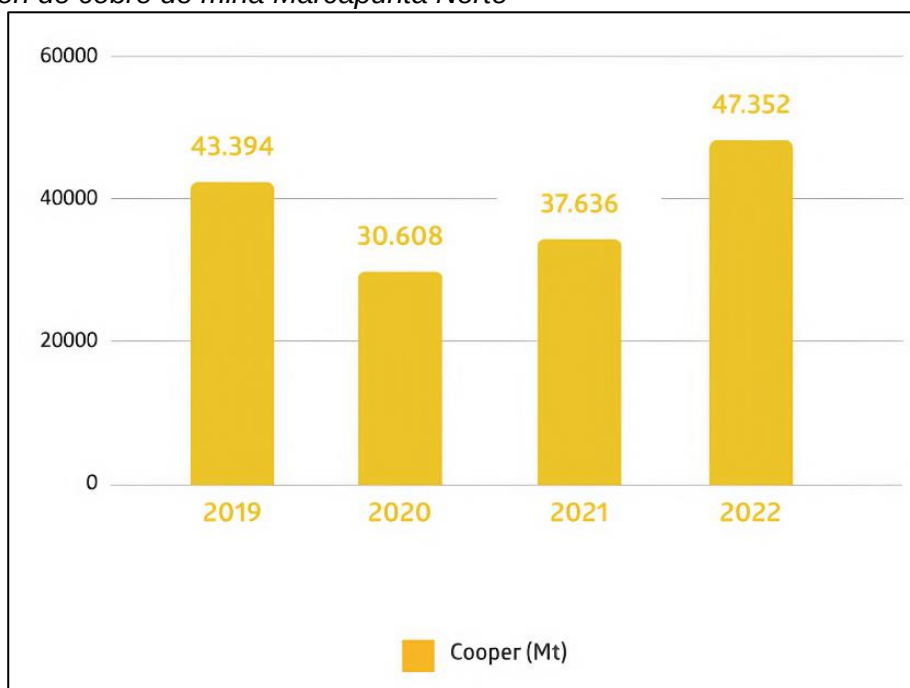
Fuente: Cía. Minas Buenaventura

3.1.1.3 Metalurgia. El mineral de Marcapunta es tratado en la planta 1, que utiliza el proceso de flotación selectiva para lograr la concentración de la mineralización económica de Cu. Su planta concentradora se encuentra ubicada en la comunidad de Huaraucaca e incluye los procesos de chancado, clasificación, molienda, acondicionamiento, flotación y filtrado, así como las respectivas canchas de almacenamiento de relaves. Dadas las características de equipamiento y disposición, está en capacidad de beneficiar los minerales de cobre de la mina Marcapunta Norte. Cuenta con acceso directo de ferrocarril, por lo que se utiliza dicho medio para el transporte de los concentrados hacia el puerto del Callao.

Capacidad de tratamiento: La planta de procesos de El Brocal, ubicada en Huaraucaca, tiene una capacidad de 20,000 TMD, la cual es compartida por las minas Marcapunta y Tajo Norte.

Figura 7

Producción de cobre de mina Marcapunta Norte



Fuente: Cía. Minas Buenaventura

3.1.2 Proyectos de voladura

De acuerdo al programa de voladuras con emulsión SanG Apu Y SanG Aurum UP+ en taladros de producción método de explotación sub level stoping y labores de avance en mina Marcapunta Norte, en el mes de agosto 2023 se realizaron 9 voladuras en SLS y 7 voladuras en labor de avance, a continuación, se mostrará un listado de los proyectos de voladura realizados.

De acuerdo a lo planificado, se realizaron trabajos especiales de carguío mecanizado en taladros largos descendentes y ascendentes SLS con diámetros 3 ½" y 2 ½", utilizando Emulsión a granel SanG Apu y SanG Aurum UP+, en malla de perforación con burden y espaciamiento, 2.00x1.80m, 1.70x1.70m y 1.50x1.50, etc. Mina proporciona la información de las labores programadas a disparar tales como diseño de perforación, información geomecánicas, nota técnica de labor, etc.

Tabla 2*Proyectos de voladura*

TIPO DE VOLADURA	NUMERO DE VOLADURA	FECHA	NOMBRE	NIVEL
Producción	69	26/07/2023	TJ590	4055
	70	27/07/2023	TJ1434N	3952
	71	30/07/2023	TJ978S	4152
	72	08/08/2023	TJ1434N	3952
	73	12/08/2023	TJ1518S	3922
	74	14/08/2023	TJ790N	3988
	75	16/08/2023	TJ565N	4055
	76	21/08/2023	TJ690	4085
	77	23/08/2023	TJ1574S	3892
Avance	18	02/08/2023	VE840	4022
	19	02/08/2023	GL607	4022
	20	03/08/2023	VE7877	4055
	21	03/08/2023	GL7865	4055
	22	04/08/2023	VE7726	4058
	23	05/08/2023	RP346	4022
	24	19/08/2023	VE7865	4055

Fuente: Elaboración propia

3.2 Procesamiento de la información**3.2.1 Voladuras realizadas – Producción****3.2.1.1 Voladura 69: TJ590 – NV4055.** Carguío de taladros negativos de 89 mm

con emulsión SanG Apu, se consumió en total 8200 kg.

Tabla 3*Datos de campo – TJ590 – NV4055*

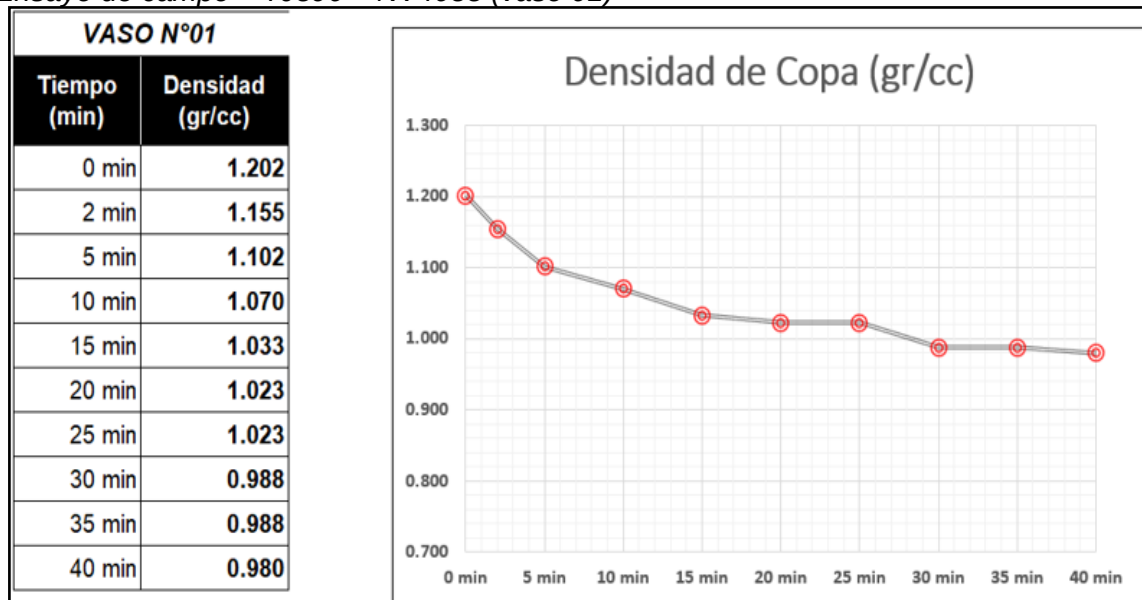
DATOS DE CAMPO	
Fecha	26/07/2023
Labor	TJ590
Nivel	4055
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.2x1.8
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2,3,4,5,6
Altura de banco (m)	18.70
Ancho de tajeo (m)	16.00
Burden (m)	2.20
N° de filas a disparar	6.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4*Datos de carguío y voladura – TJ590 – NV4055*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG APU
Fila 1 (Kg)	1367
Fila 2 (Kg)	1367
Fila 3 (Kg)	1367
Fila 4 (Kg)	1366
Fila 5 (Kg)	1366
Fila 6 (Kg)	1367
Total de explosivos (Kg)	8200
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	252
Booster 225 gr (und)	252
Cordón detonante 5P (m)	60
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

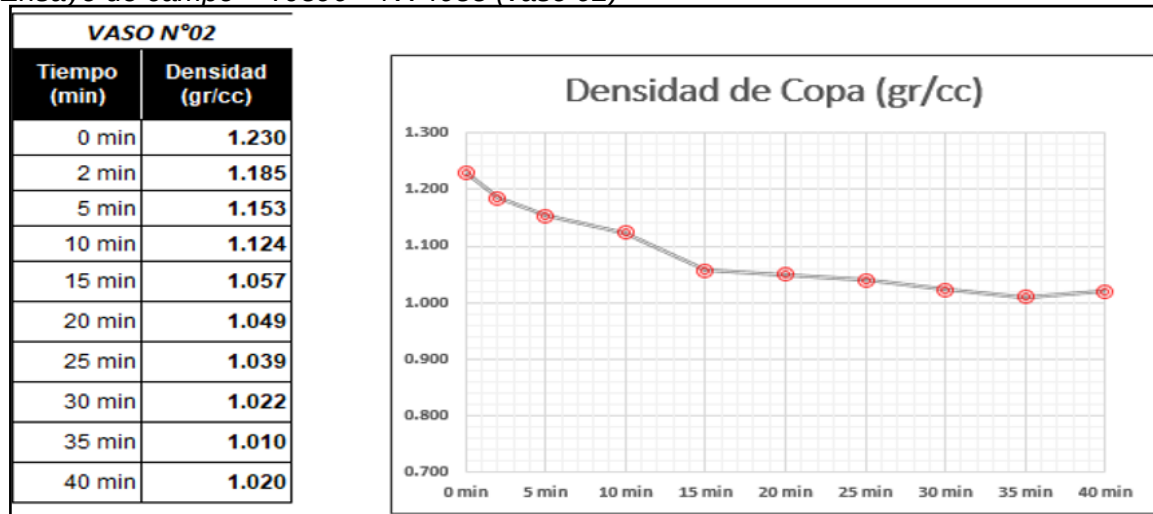
Fuente: Elaboración propia

Figura 8*Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 01)*

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

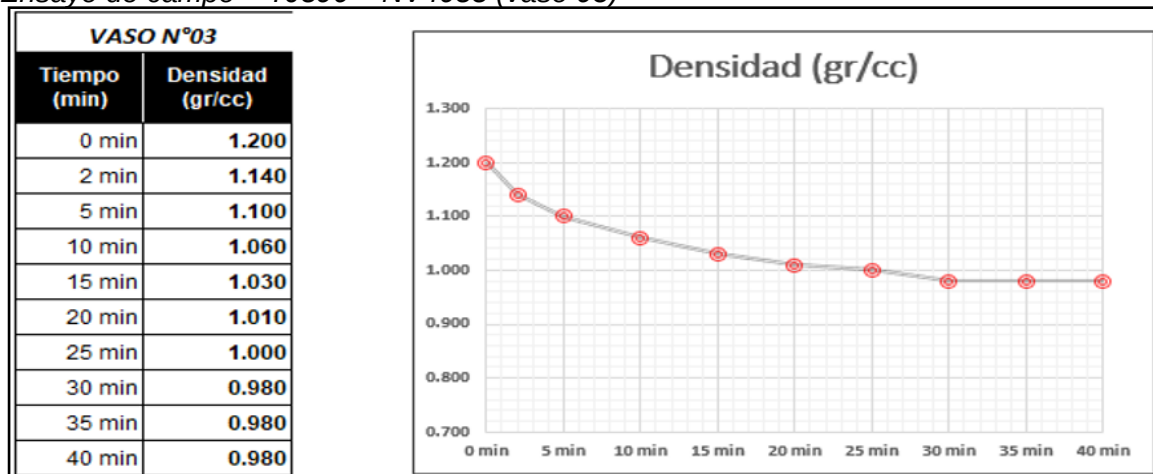
Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Ensayo de campo – TJ590 – NV4055 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Resultados de voladura – TJ590 – NV4055

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	4.20
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m³)	598.4
Tonelada rota por fila (Tn)	1914.9
Total de toneladas rotas (Tn)	11059.2
Factor de carga (kg/Tn)	0.74
Costo por disparo (US\$)	9603.48
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.87

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2 Voladura 70: TJ1434N – NV3952. Carguío de taladros negativos de 89

mm con emulsión SanG APU, se consumió en total 2294 kg.

Tabla 6

Datos de campo – TJ1434N – NV3952

DATOS DE CAMPO	
Fecha	27/07/2023
Labor	TJ1434N
Nivel	3952
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.0x1.7
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2
Altura de banco (m)	18.70
Ancho de tajeo (m)	18.00
Burden (m)	2.00
N° de filas a disparar	2.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7

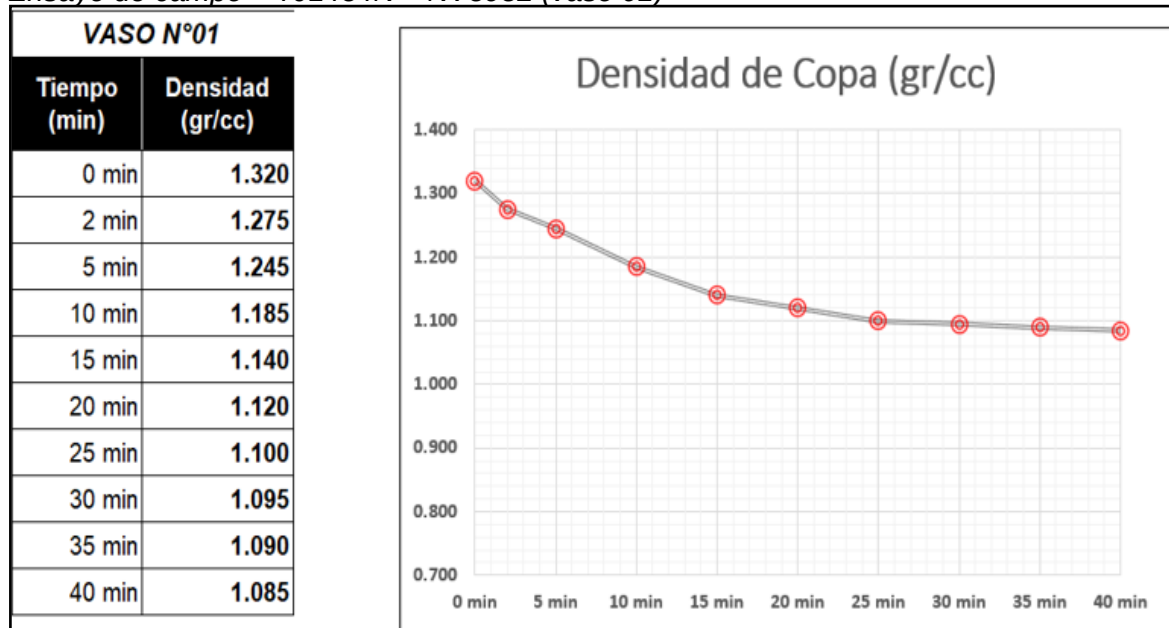
Datos de carguío y voladura – TJ1434N – NV3952

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG APU
Fila 1 (Kg)	1147
Fila 2 (Kg)	1147
Fila 3 (Kg)	0
Fila 4 (Kg)	0
Fila 5 (Kg)	0
Fila 6 (Kg)	0
Total de explosivos (Kg)	2294
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	94
Booster 225 gr (und)	94
Cordón detonante 5P (m)	40
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

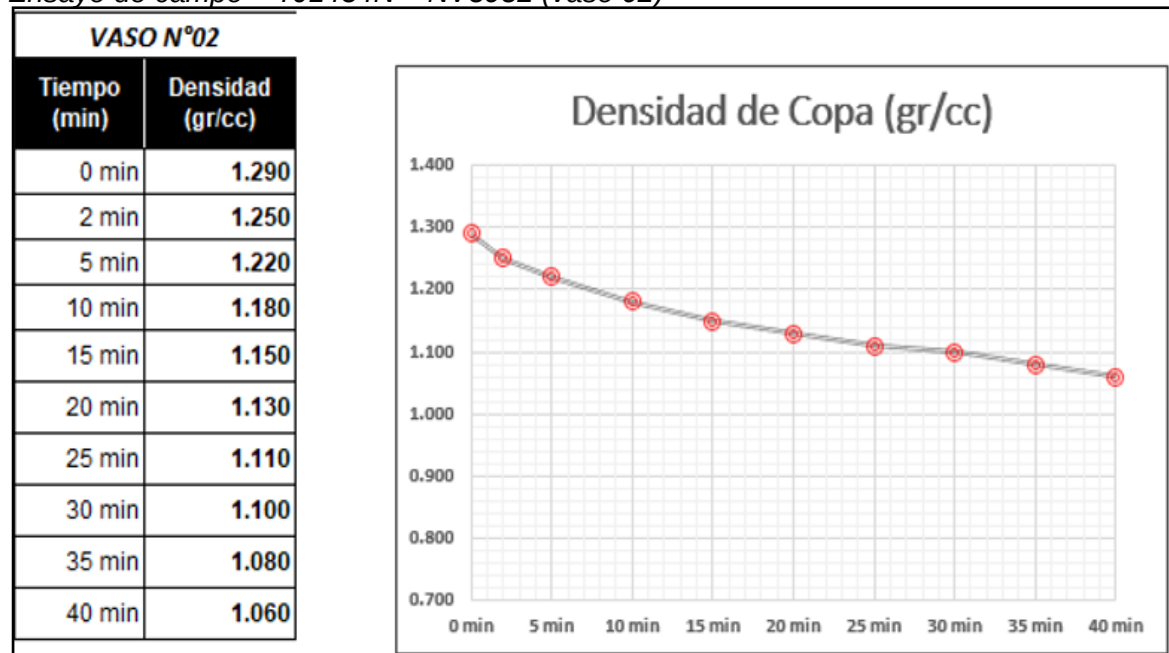
Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

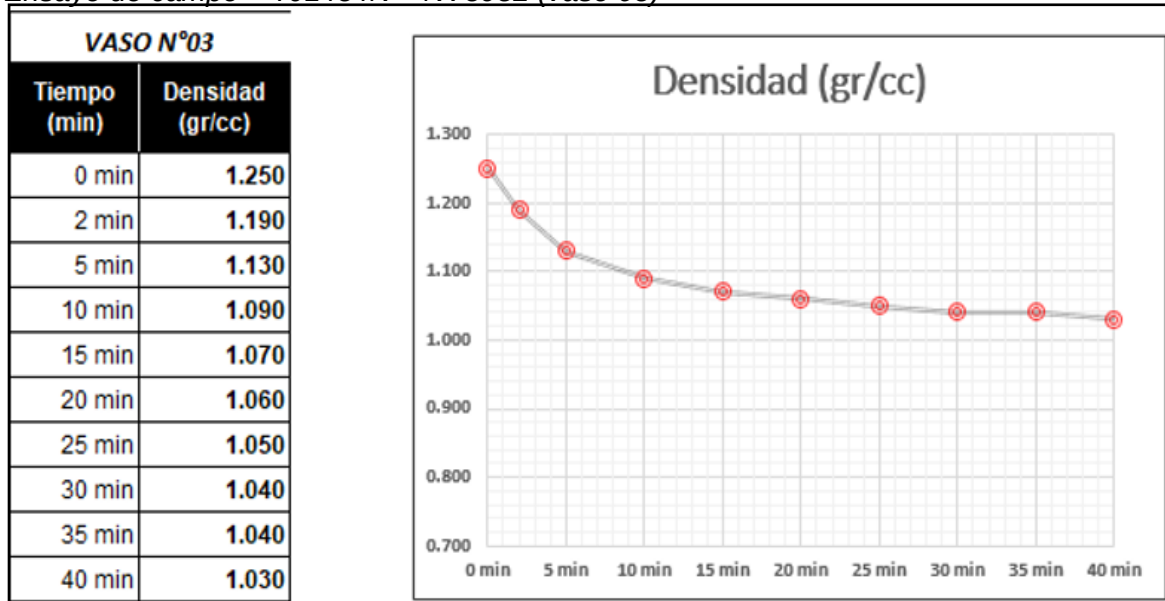
Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Resultados de voladura – TJ1434N – NV3952

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	3.18
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	673.2
Tonelada rota por fila (Tn)	2154.2
Total de toneladas rotas (Tn)	4172.8
Factor de carga (kg/Tn)	0.55
Costo por disparo (US\$)	2808.55
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.67

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.3 Voladura 71: TJ978S – NV4152. Carguío de taladros positivos de 64mm con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 1735 kg.

Tabla 9*Datos de campo – TJ978S – NV4152*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	30/07/2023
Labor	TJ978S
Nivel	4152
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	1.8x1.5
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2
Altura de banco (m)	16.70
Ancho de tajeo (m)	20.00
Burden (m)	1.80
N° de filas a disparar	2.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

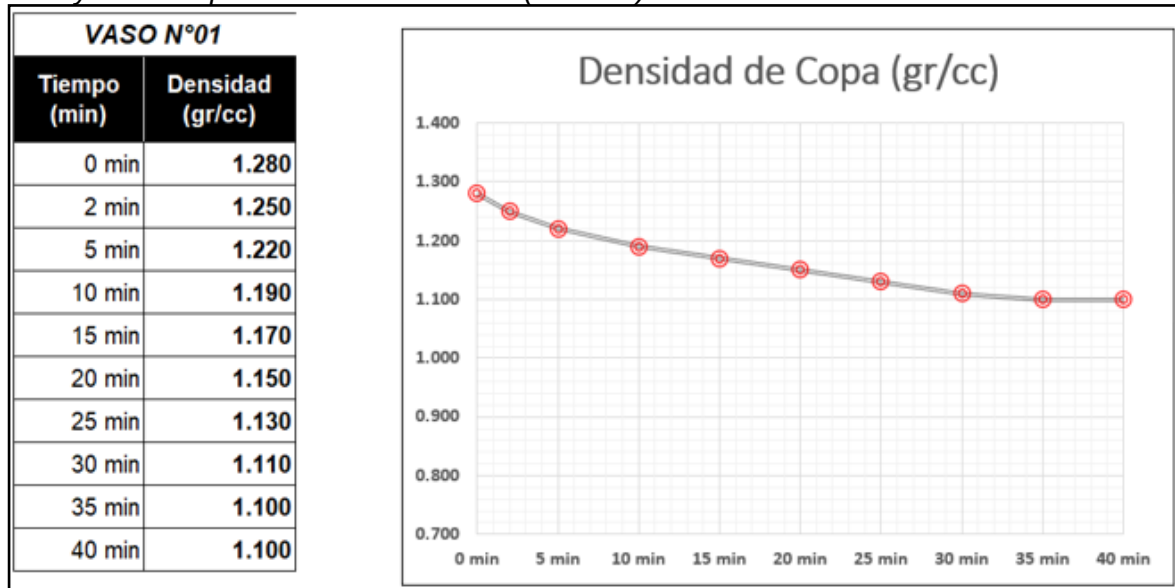
Tabla 10*Datos de carguío y voladura – TJ978S – NV4152*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Fila 1 (Kg)	1071
Fila 2 (Kg)	664
Fila 3 (Kg)	0
Fila 4 (Kg)	0
Fila 5 (Kg)	0
Fila 6 (Kg)	0
Total de explosivos (Kg)	1735
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	72
Booster 225 gr (und)	72
Cordón detonante 5P (m)	30
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

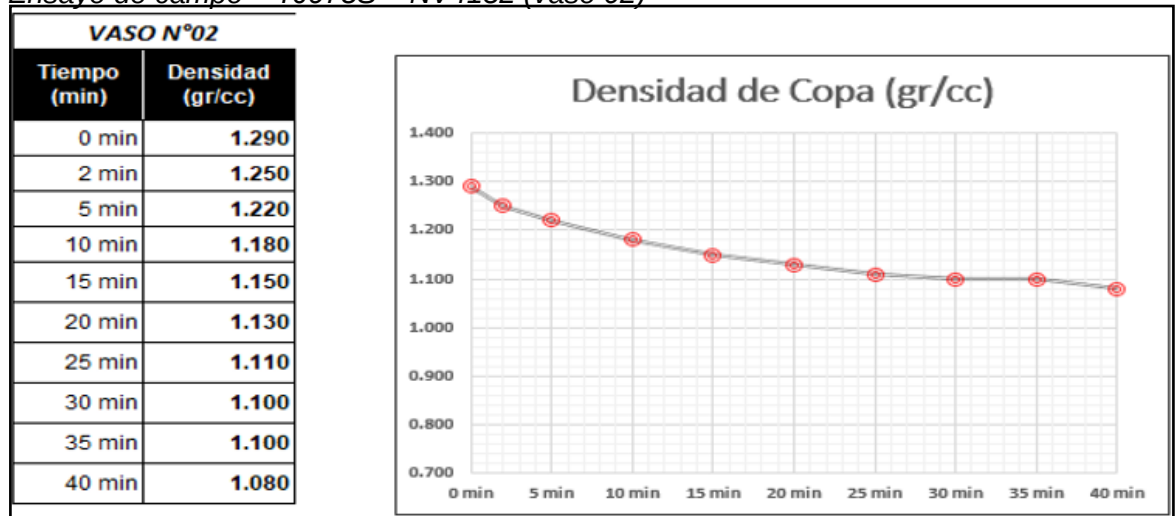
Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

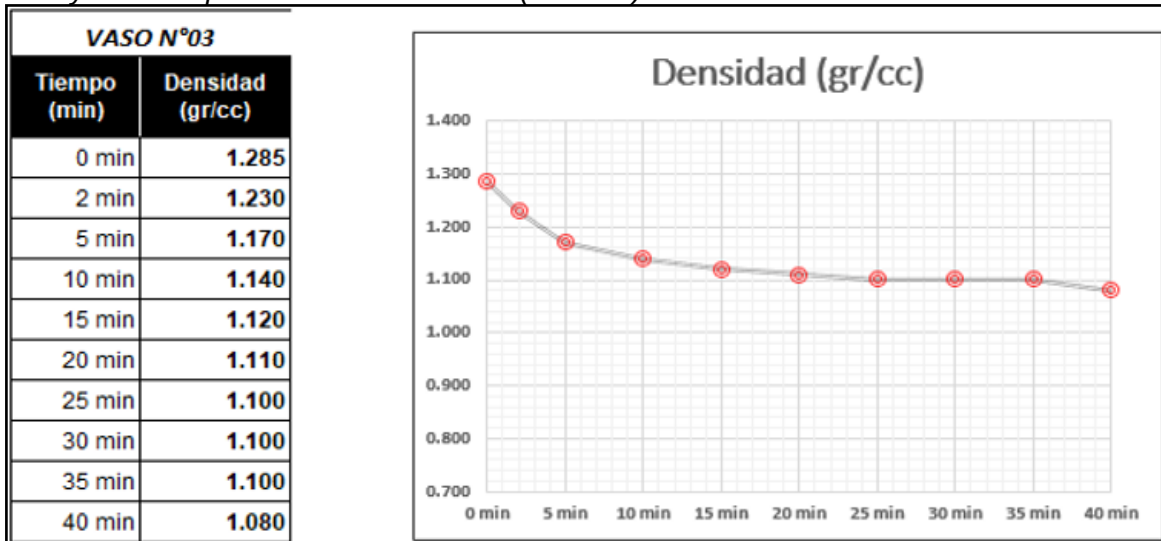
Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Ensayo de campo – TJ978S – NV4152 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Resultados de voladura – TJ978S – NV4152

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	4.75
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	601.2
Tonelada rota por fila (Tn)	1923.8
Total de toneladas rotas (Tn)	3847.7
Factor de carga (kg/Tn)	0.45
Costo por disparo (US\$)	3071.01
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.80

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.4 Voladura 72: TJ1434N – NV3952. Carguío de taladros Negativos de 89 mm con emulsión SanG APU, se consumió en total 11640 kg.

Tabla 12*Datos de campo – TJ1434N – NV3952*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	08/08/2023
Labor	TJ1434N
Nivel	3952
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.0x1.7
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2,3,4,5,6,7,8,9
Altura de banco (m)	18.70
Ancho de tajeo (m)	18.00
Burden (m)	2.00
Nº de filas a disparar	9.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

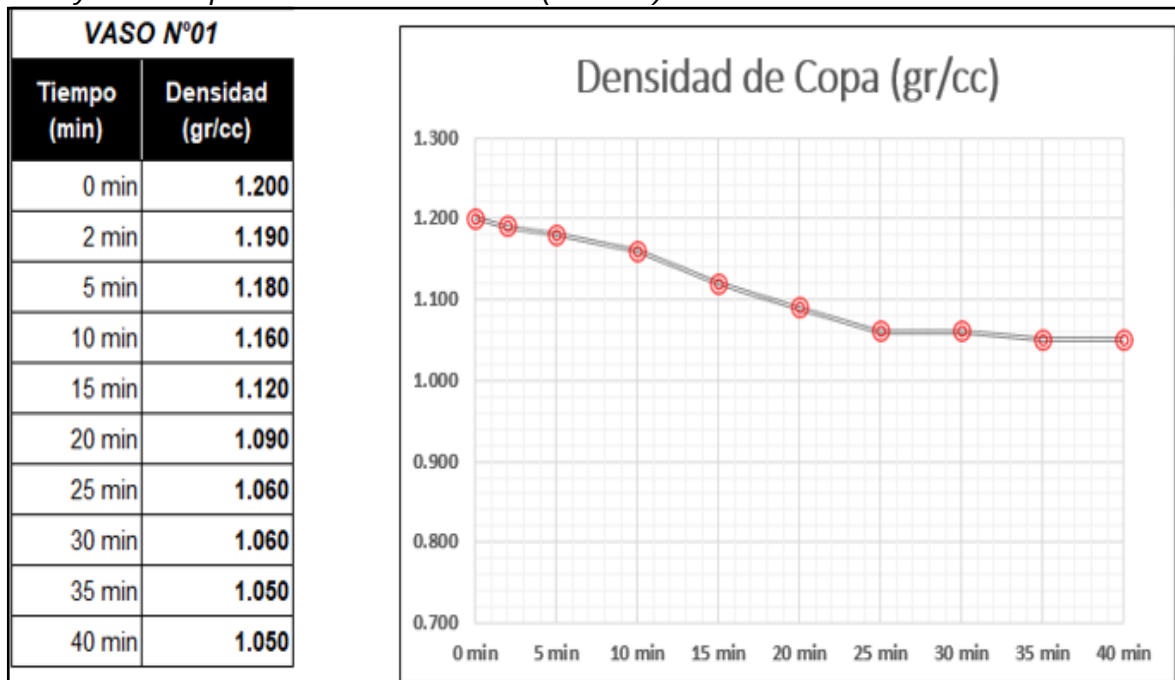
Tabla 13*Datos de carguío y voladura – TJ1434N – NV3952*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG APU
Fila 1 (Kg)	1277
Fila 2 (Kg)	1277
Fila 3 (Kg)	1439
Fila 4 (Kg)	1439
Fila 5 (Kg)	1241
Fila 6 (Kg)	1246
Fila 7 (Kg)	1241
Fila 8 (Kg)	1241
Fila 9 (Kg)	1241
Total de explosivos (Kg)	11640
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	432
Booster 225 gr (und)	432
Cordón detonante 5P (m)	60
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 17

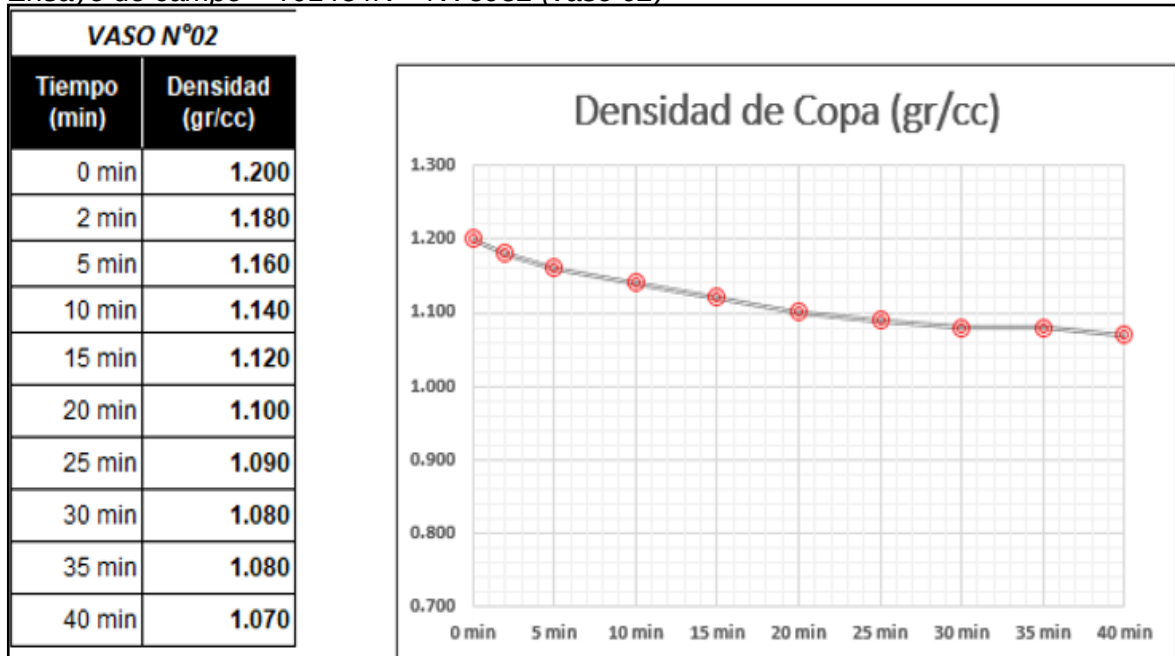
Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 18

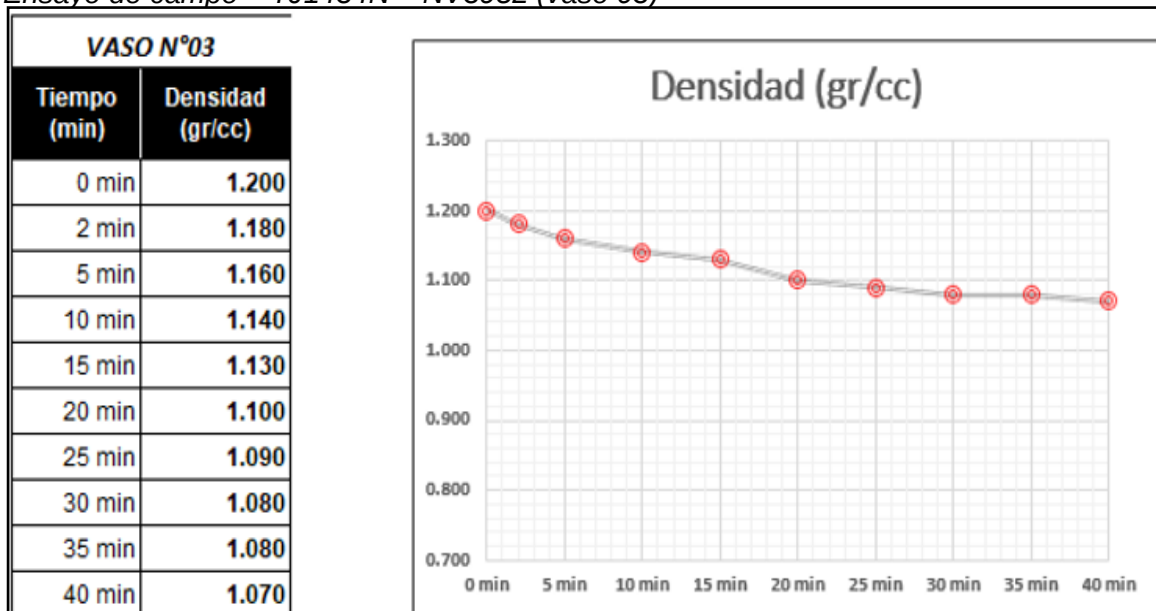
Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Ensayo de campo – TJ1434N – NV3952 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14

Resultados de voladura – TJ1434N – NV3952

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	5.15
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	13.44
Distancia (m)	123.0
Volumen roto por fila (m³)	673.2
Tonelada rota por fila (Tn)	2154.2
Total de toneladas rotas (Tn)	18777.6
Factor de carga (kg/Tn)	0.62
Costo por disparo (US\$)	13996.42
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.75

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.5 Voladura 73: TJ1518S – NV3922. Carguío de taladros positivos de 64mm con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 2801 kg.

Tabla 15*Datos de campo – TJ1518S – NV3922*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	12/08/2023
Labor	TJ1518S
Nivel	3922
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	1.6x1.5
Sección de galería (m)	4.0x4.0
Filas disparadas	1,2,3,4,5,6, D-C-B-A
Altura de banco (m)	19.40
Ancho de tajeo (m)	4.20
Burden (m)	1.60
N° de filas a disparar	10.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

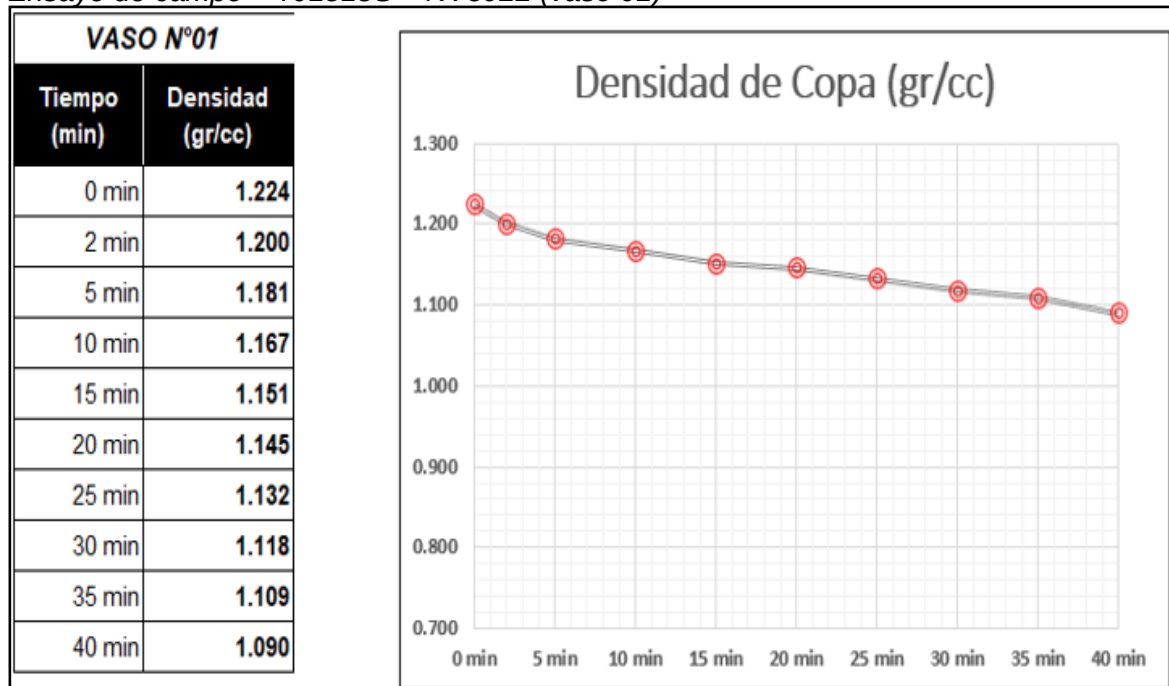
Tabla 16*Datos de carguío y voladura – TJ1518S – NV3922*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Fila 1 (Kg)	219
Fila 2 (Kg)	171
Fila 3 (Kg)	220
Fila 4 (Kg)	335
Fila 5 (Kg)	174
Fila 6 (Kg)	152
Fila 8 (Kg)	247
Fila 9 (Kg)	304
Fila 10 (Kg)	302
Fila 11 (Kg)	412
Total de explosivos (Kg)	2801
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	60
Booster 225 gr (und)	151
Cordón detonante 5P (m)	80
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

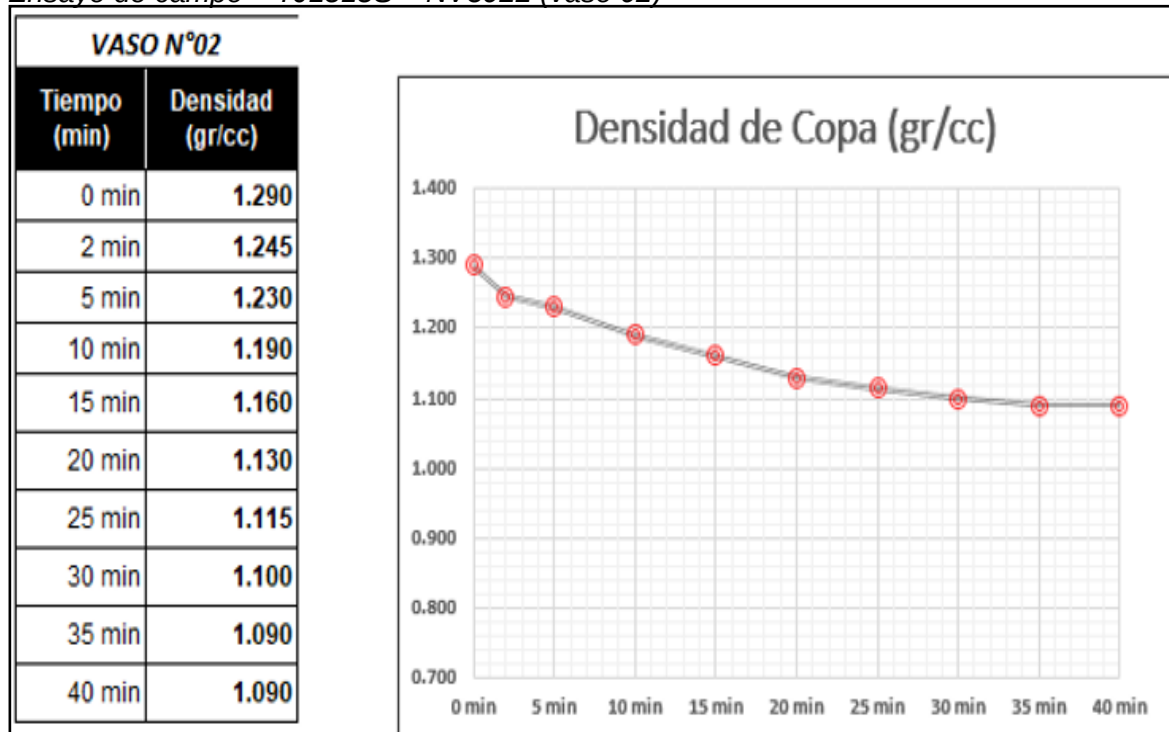
Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 21

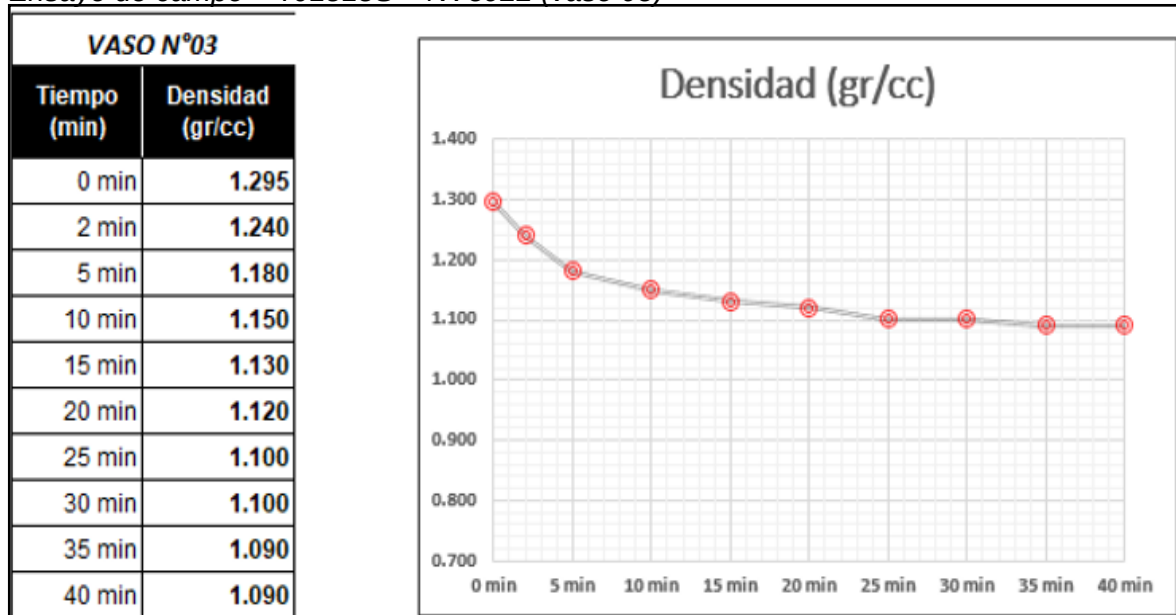
Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Ensayo de campo – TJ1518S – NV3922 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

Resultados de voladura – TJ1518S – NV3922

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	6.53
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	130.4
Tonelada rota por fila (Tn)	417.2
Total de toneladas rotas (Tn)	10953.6
Factor de carga (kg/Tn)	0.26
Costo por disparo (US\$)	4992.11
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.46

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.6 Voladura 74: TJ790N – NV3988. Carguío de taladros negativos de 89 mm, carguío con emulsión SanG APU, se consumió en total 10500 kg.

Tabla 18*Datos de campo – TJ790N – NV3988*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	14/08/2023
Labor	TJ790N
Nivel	3988
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.2x1.8
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2,3,4,5,6
Altura de banco (m)	20.70
Ancho de tajeo (m)	16.00
Burden (m)	2.20
N° de filas a disparar	6.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

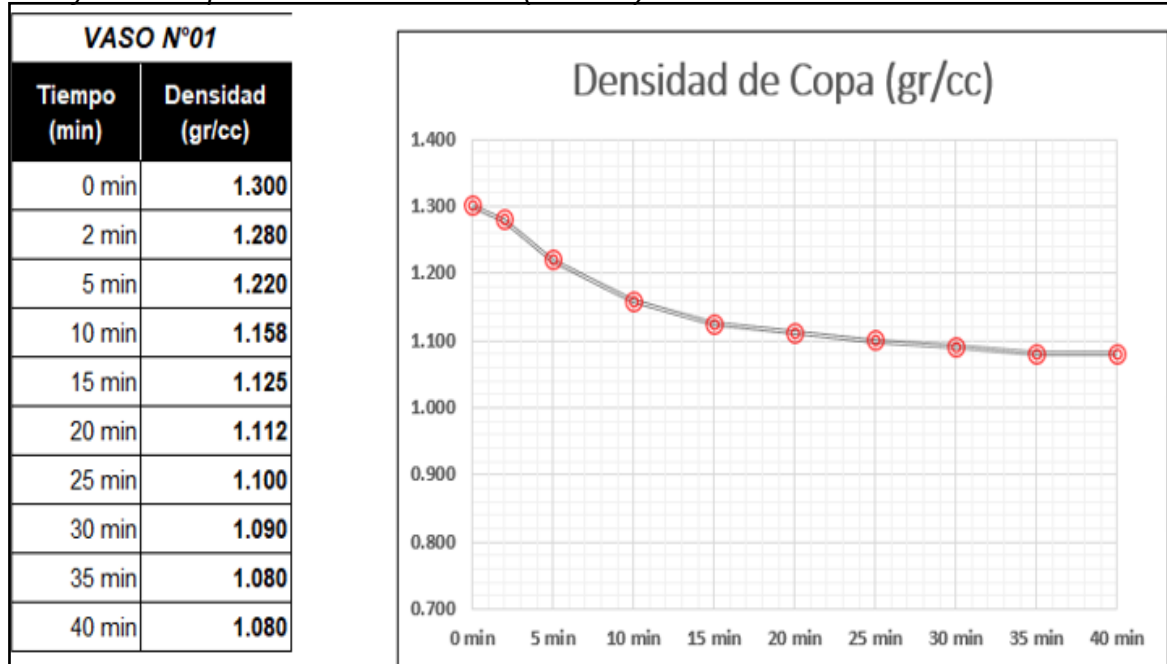
Tabla 19*Datos de carguío y voladura – TJ790N – NV3988*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG APU
Fila 1 (Kg)	1750
Fila 2 (Kg)	1750
Fila 3 (Kg)	1750
Fila 4 (Kg)	1750
Fila 5 (Kg)	1750
Fila 6 (Kg)	1750
Total de explosivos (Kg)	10500
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	311
Booster 225 gr (und)	311
Cordón detonante 5P (m)	60
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

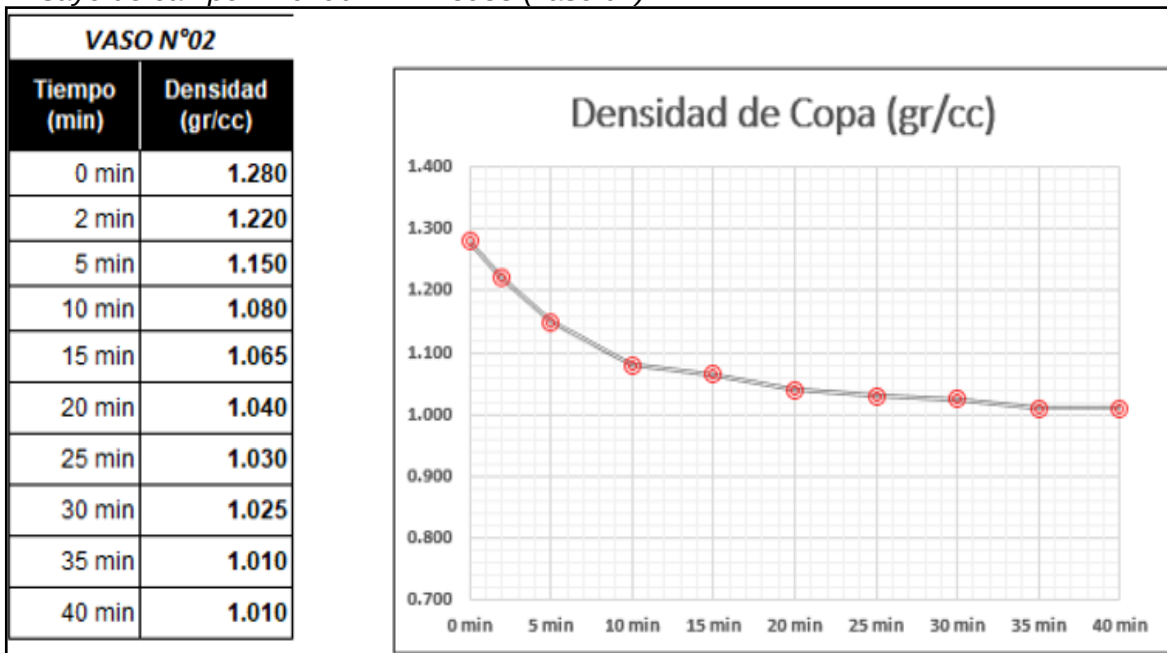
Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 24

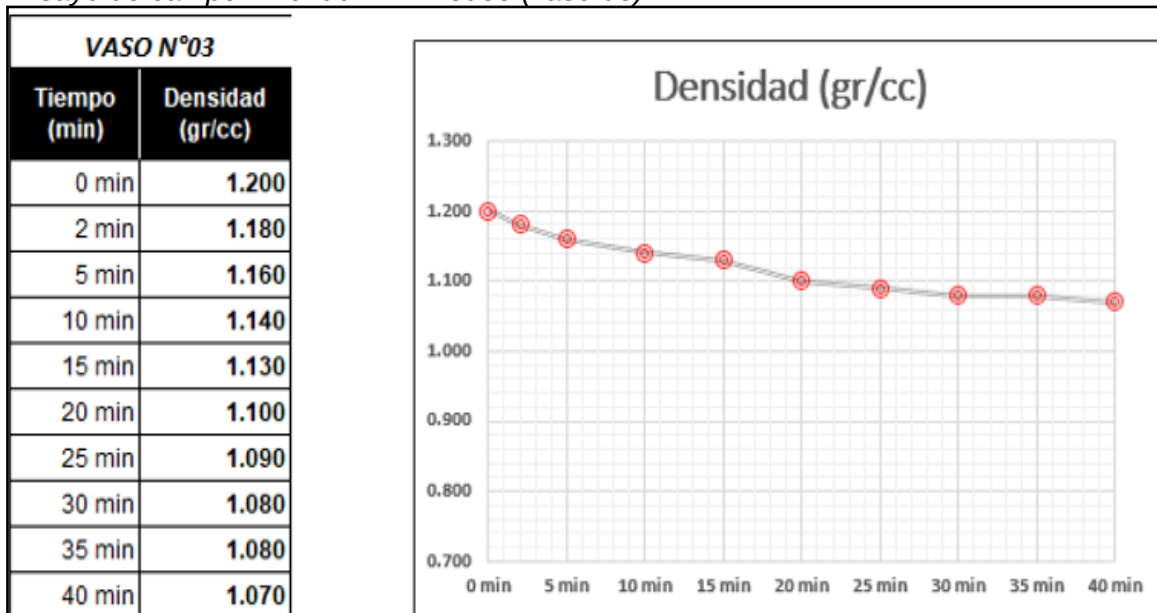
Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Ensayo de campo – TJ790N – NV3988 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Resultados de voladura – TJ790N – NV3988

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	6.80
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	662.4
Tonelada rota por fila (Tn)	2119.7
Total de toneladas rotas (Tn)	10521.6
Factor de carga (kg/Tn)	1.00
Costo por disparo (US\$)	12235.63
Costo por tonelada (US\$/Tn)	1.16

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.7 Voladura 75: TJ565N – NV4055

Carguío de taladros positivos de 89 mm con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 6134 kg.

Tabla 21*Datos de campo – TJ565N – NV4055*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	16/08/2023
Labor	TJ565N
Nivel	4055
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.2x1.7
Sección de galería (m)	3.8x3.9
Filas disparadas	25,26,27,28
Altura de banco (m)	25.50
Ancho de tajeo (m)	16.00
Burden (m)	2.20
N° de filas a disparar	4.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

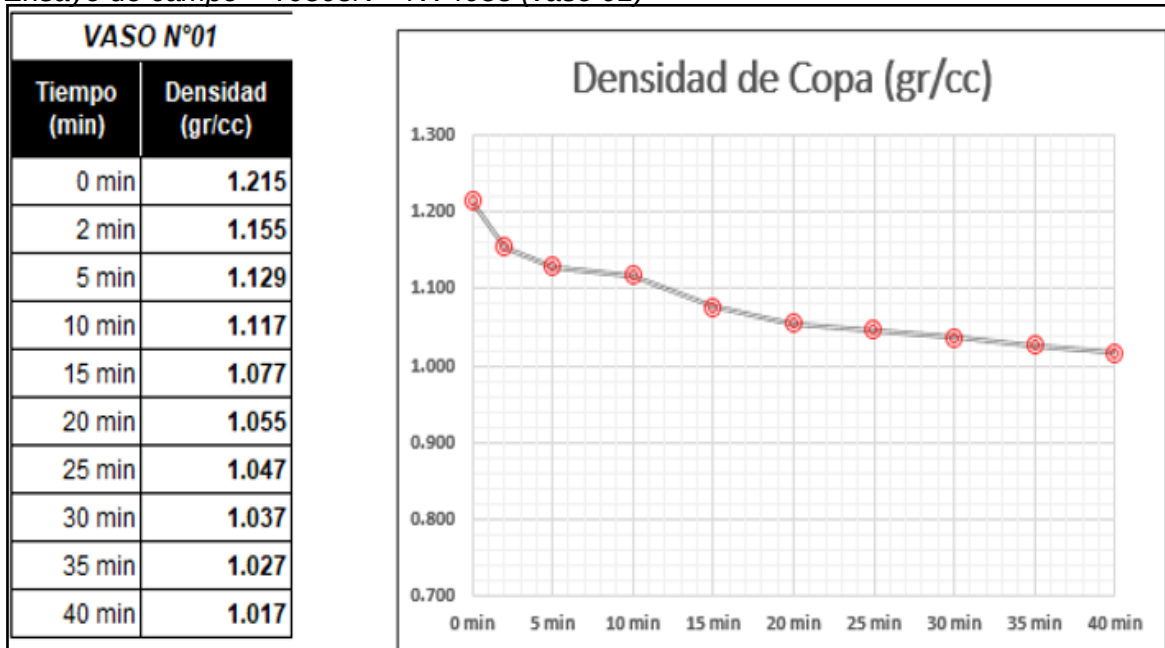
Tabla 22*Datos de carguío y voladura – TJ565N – NV4055*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Fila 1 (Kg)	1533
Fila 2 (Kg)	1534
Fila 3 (Kg)	1535
Fila 4 (Kg)	1532
Fila 5 (Kg)	0
Fila 6 (Kg)	0
Total de explosivos (Kg)	6134
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	240
Booster 225 gr (und)	240
Cordón detonante 5P (m)	40
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

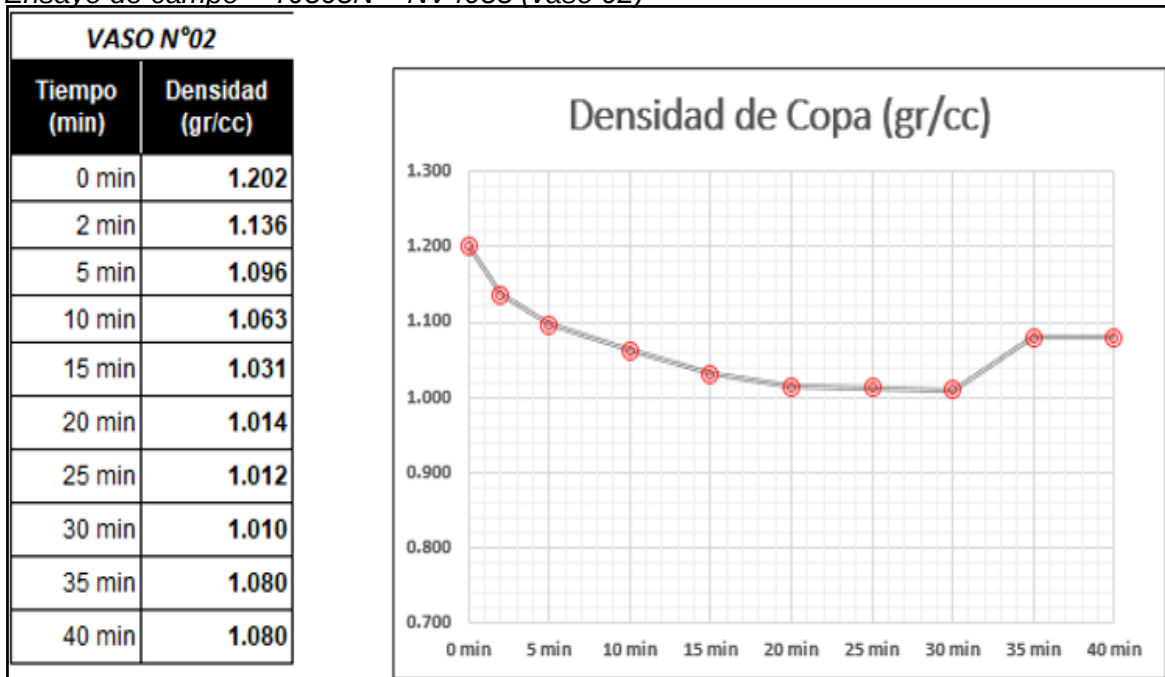
Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

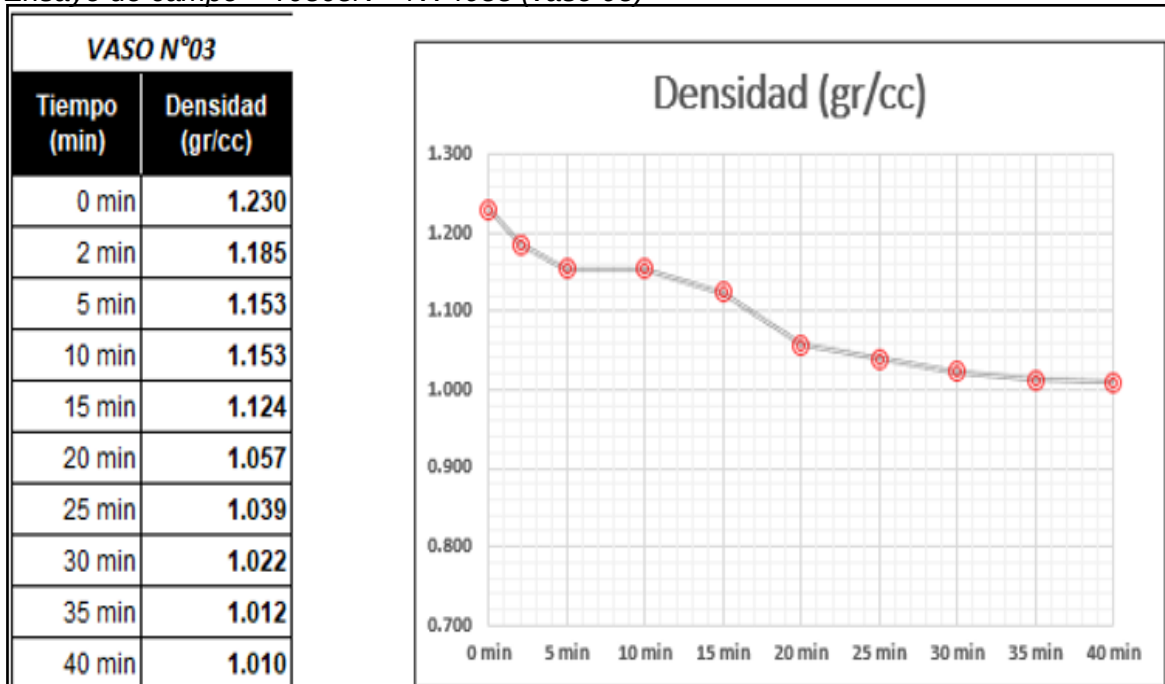
Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Ensayo de campo – TJ565N – NV4055 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Resultados de voladura – TJ565N – NV4055

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	6.04
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	65.18
Distancia (m)	60.0
Volumen roto por fila (m ³)	816.0
Tonelada rota por fila (Tn)	2611.2
Total de toneladas rotas (Tn)	10567.7
Factor de carga (kg/Tn)	0.58
Costo por disparo (US\$)	10769.77
Costo por tonelada (US\$/Tn)	1.02

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.8 Voladura 76: TJ690 – NV4085

Carguío de taladros positivos de 89mm con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 712 kg.

Tabla 24*Datos de campo – TJ690 – NV4085*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	21/08/2023
Labor	TJ690
Nivel	4085
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	1.6x1.6
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	3,4,5,6,7,8
Altura de banco (m)	10.00
Ancho de tajeo (m)	8.80
Burden (m)	1.60
N° de filas a disparar	6.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

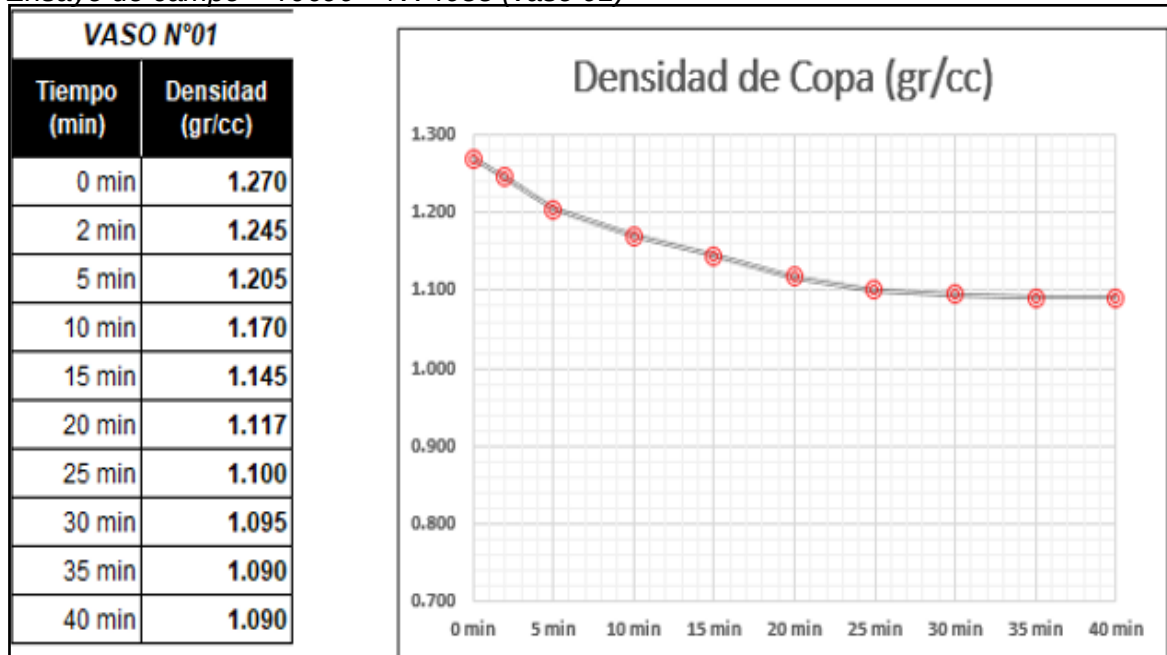
Tabla 25*Datos de carguío y voladura – TJ690 – NV4085*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Fila 1 (Kg)	151
Fila 2 (Kg)	111
Fila 3 (Kg)	108
Fila 4 (Kg)	114
Fila 5 (Kg)	114
Fila 6 (Kg)	114
Total de explosivos (Kg)	712
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	47
Booster 225 gr (und)	47
Cordón detonante 5P (m)	40
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

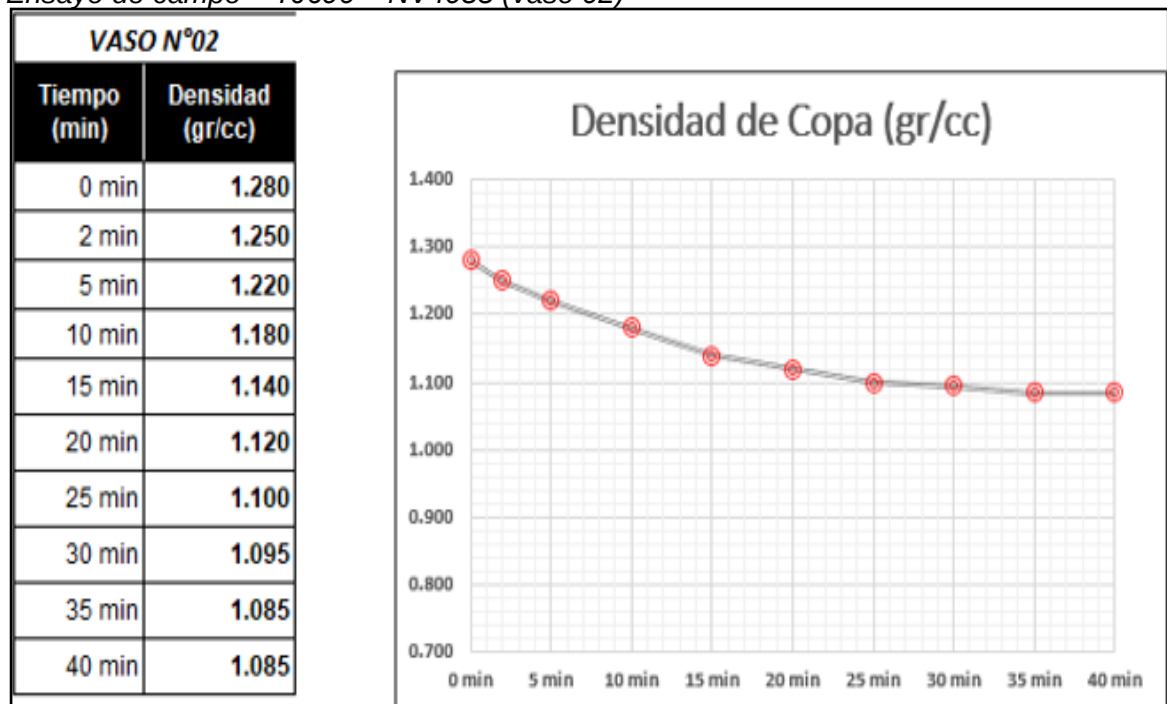
Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 30

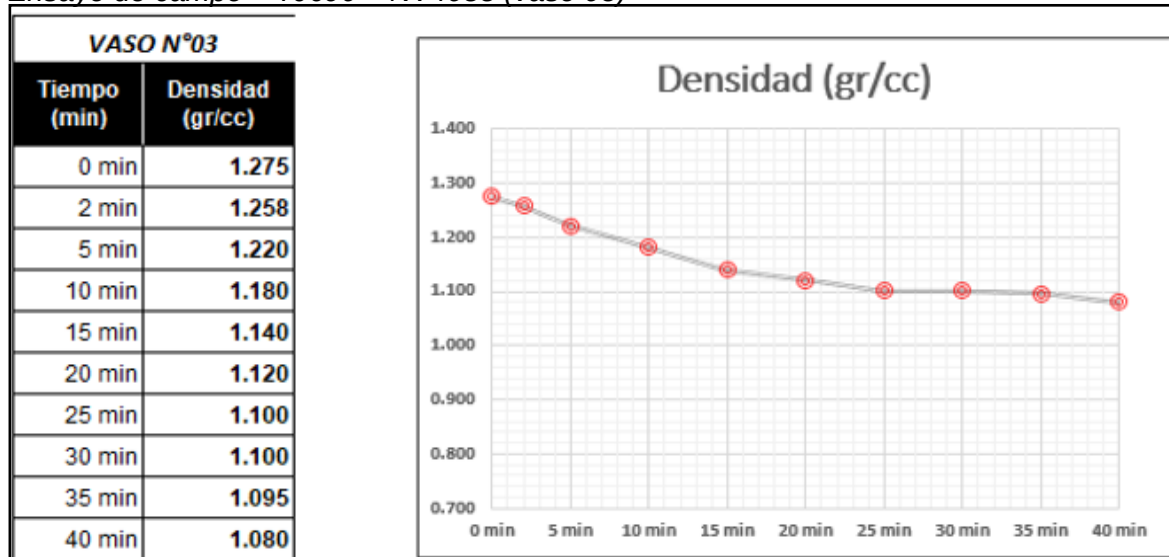
Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Ensayo de campo – TJ690 – NV4085 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Resultados de voladura – TJ690 – NV4085

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	4.35
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	140.8
Tonelada rota por fila (Tn)	450.6
Total de toneladas rotas (Tn)	2703.4
Factor de carga (kg/Tn)	0.26
Costo por disparo (US\$)	1352.82
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.50

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.9 Voladura 77: TJ1574S – NV3892. Carguío de taladros Negativos de 89mm con emulsión SanG APU, se consumió en total 6520 kg.

Tabla 27*Datos de campo – TJ1574S – NV3892*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	23/08/2023
Labor	TJ1574S
Nivel	3892
Tipo de voladura	Producción
Malla (BxE) (m)	2.0x1.7
Sección de galería (m)	3.7x3.9
Filas disparadas	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
Altura de banco (m)	12.00
Ancho de tajeo (m)	13.00
Burden (m)	2.00
N° de filas a disparar	10.00
Densidad de roca (gr/cc)	3.20

Fuente: Elaboración propia

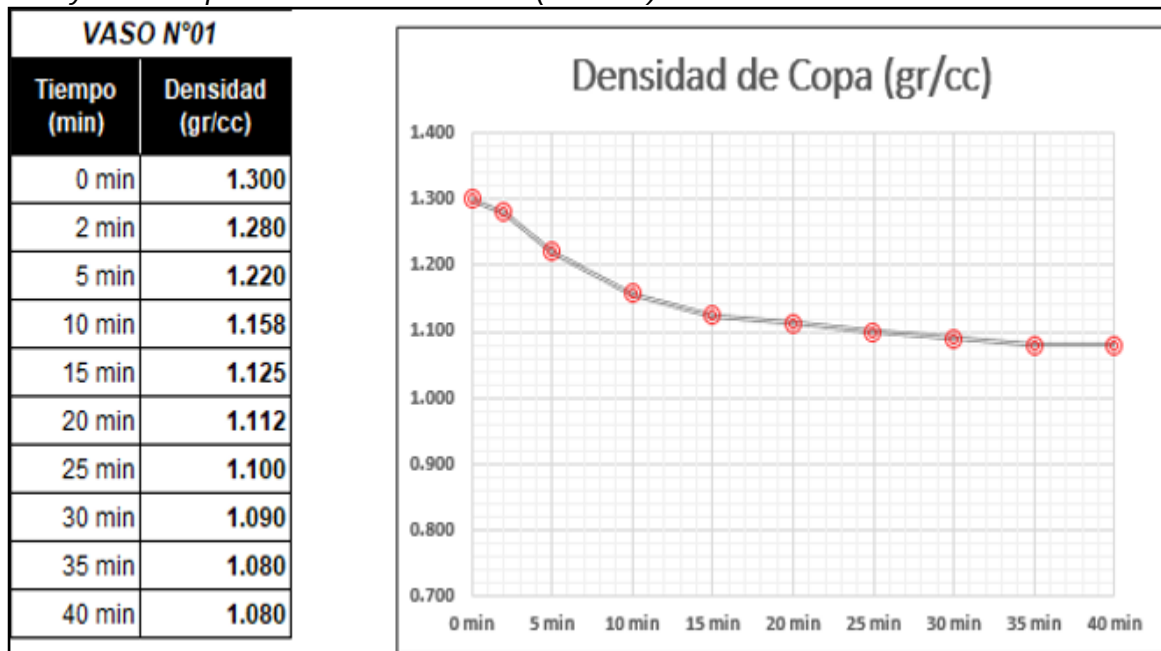
Tabla 28*Datos de carguío y voladura – TJ1574S – NV3892*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Tipo de emulsión	SANG APU
Fila 1 (Kg)	650
Fila 2 (Kg)	650
Fila 3 (Kg)	650
Fila 4 (Kg)	650
Fila 5 (Kg)	650
Fila 6 (Kg)	650
Fila 7 (Kg)	650
Fila 8 (Kg)	650
Fila 9 (Kg)	650
Fila 10 (Kg)	650
Total de explosivos (Kg)	6520
Fanel MS 18.0 m – 1.1B (und)	20
Booster 225 gr (und)	250
Cordón detonante 5P (m)	60
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 32

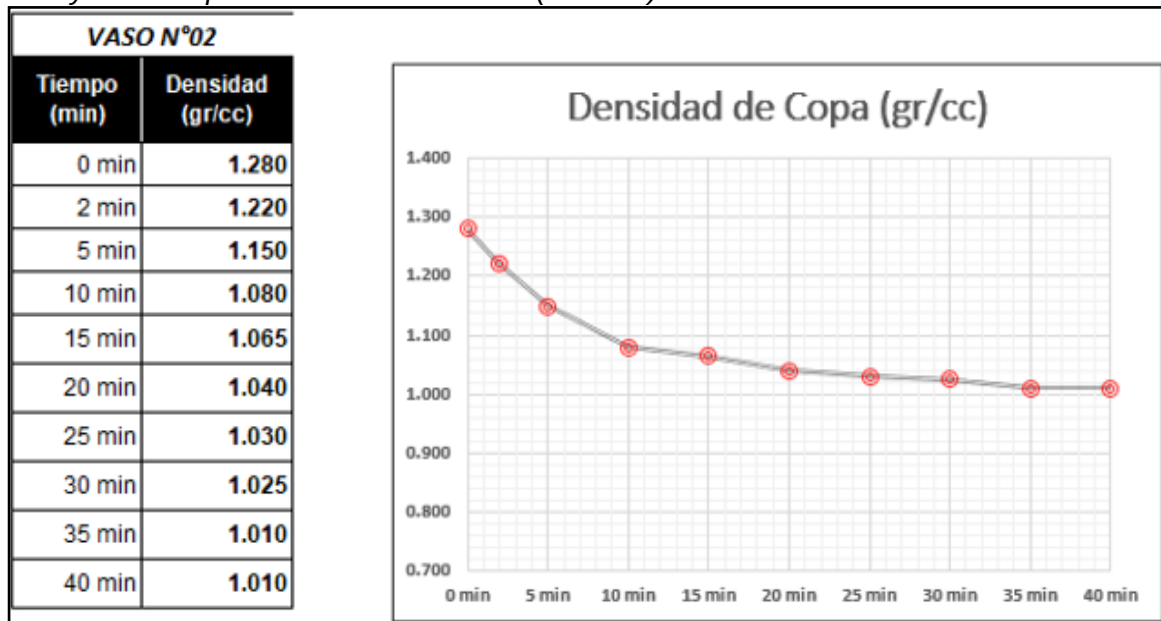
Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Figura 33

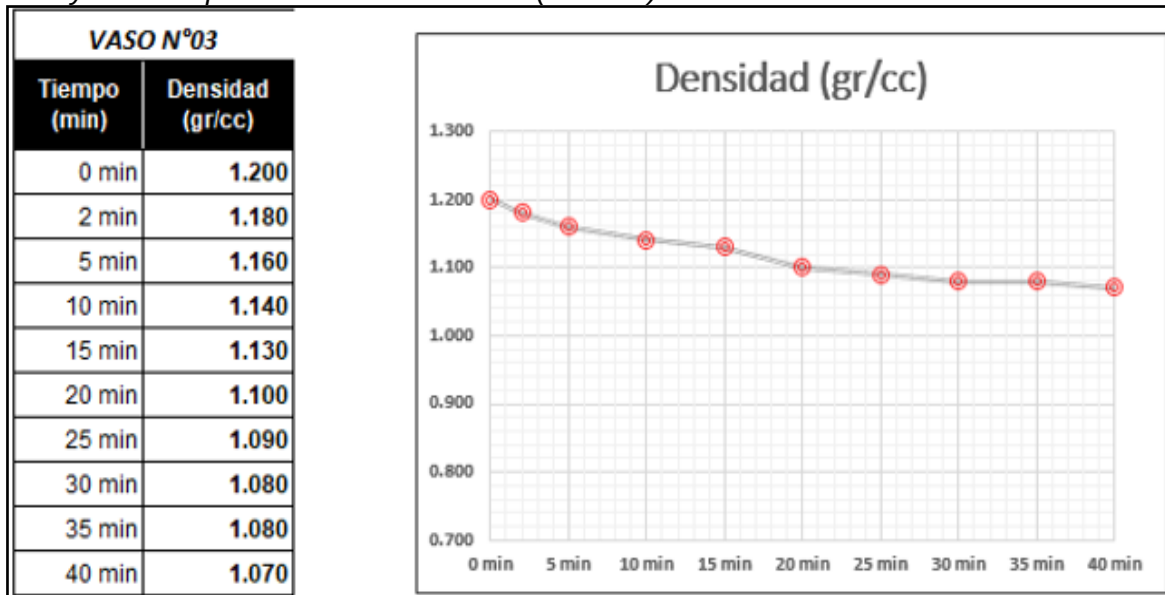
Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 02)



Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Ensayo de campo – TJ1574S – NV3892 (vaso 03)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Resultados de voladura – TJ1574S – NV3892

RESULTADOS DE VOLADURA	
P80 (Pulg)	4.18
VOD (m/s)	N/R
VPP (mm/s)	N/R
Distancia (m)	N/R
Volumen roto por fila (m ³)	312.0
Tonelada rota por fila (Tn)	998.4
Total de toneladas rotas (Tn)	9060.5
Factor de carga (kg/Tn)	0.72
Costo por disparo (US\$)	7522.04
Costo por tonelada (US\$/Tn)	0.83

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Voladuras realizadas – Avance

3.2.2.1 Voladura 18: VE840 – NV4022. Carguío de labor de avance con emulsión

SanG Aurum UP+, se consumió en total 184.52 kg.

Tabla 30*Datos de campo – VE840 – NV4022*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	02/08/2023
Labor	VE840
Nivel	4022
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.00
N° de taladros perforados (und)	40
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	36
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	45

Fuente: Elaboración propia

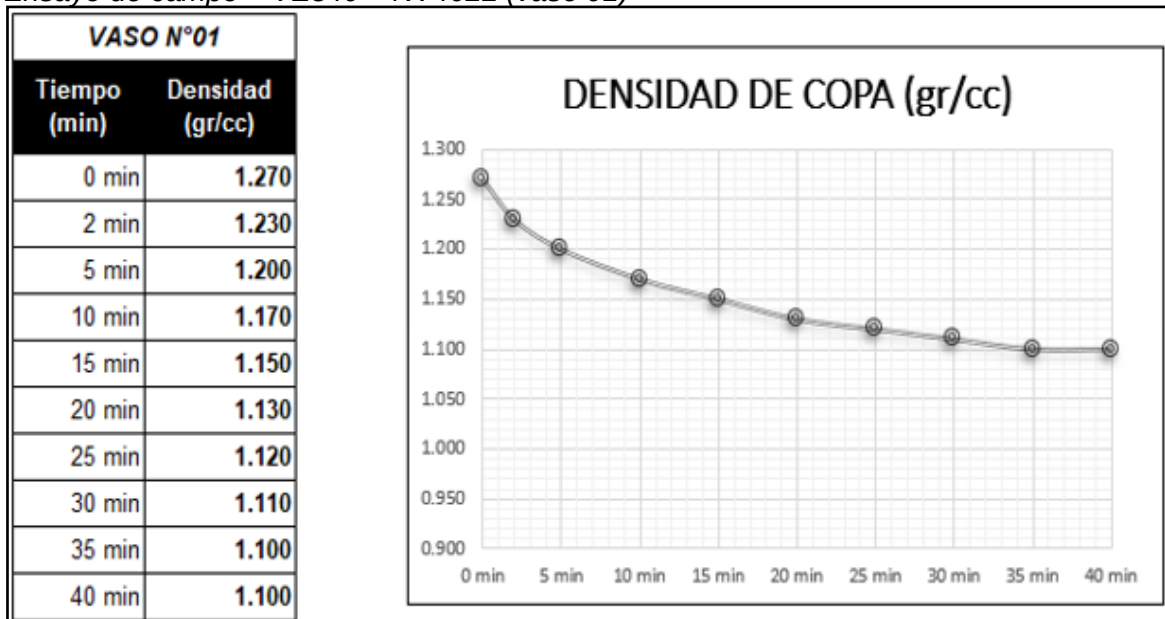
Tabla 31*Datos de carguío y voladura – VE840 – NV4022*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	36
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	170
Total de explosivo (kg)	184.52
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	36
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Ensayo de campo – VE840 – NV4022 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Resultados de voladura – VE840 – NV4022

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.10
Sección post-voladura (m)	4.00x4.40
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.4
Volumen roto (m ³)	59.84
Toneladas rotas (Tn)	191.488
Sobrerotura lograda (%)	2%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	54.27
Factor carga (kg/m ³)	3.08
Factor carga (kg/Tn)	0.96
Costo por disparo (US\$)	350.74
Costo por metro (US\$/m)	103.16

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2 Voladura 19: GL607 – NV4022

Carguío de labor de avance con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 193.52 kg

Tabla 33*Datos de campo – GL607 – NV4022*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	02/08/2023
Labor	GL607
Nivel	4022
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.50
N° de taladros perforados (und)	40
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	36
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	45

Fuente: Elaboración propia

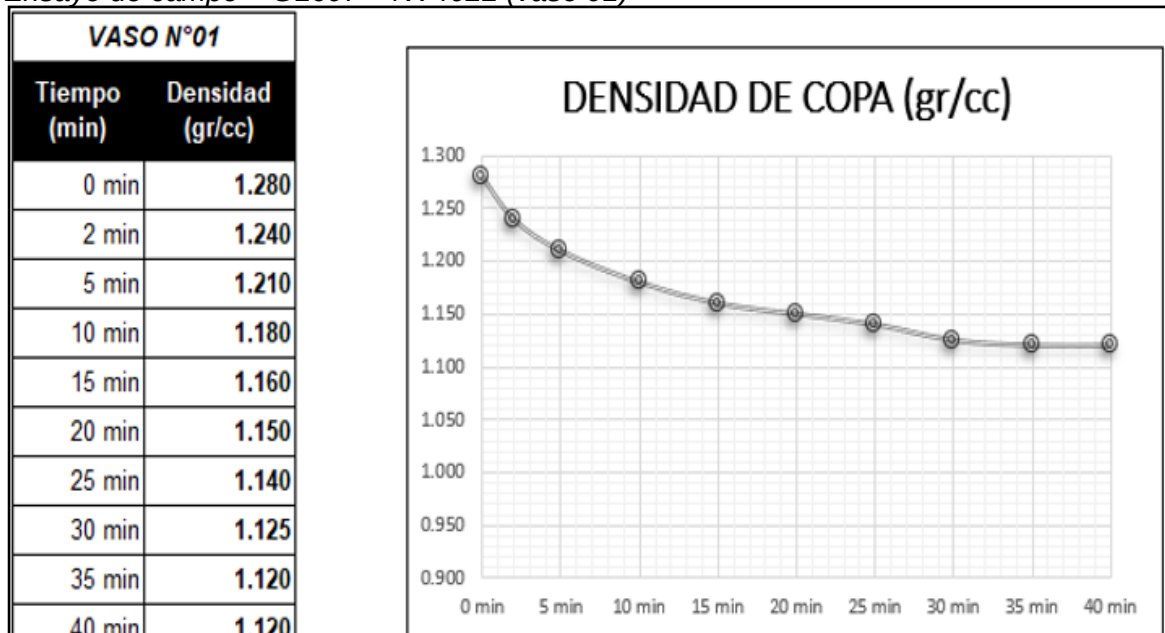
Tabla 34*Datos de carguío y voladura – GL607 – NV4022*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	36
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	179
Total de explosivo (kg)	193.52
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	36
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 36

Ensayo de campo – GL607 – NV4022 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Resultados de voladura – GL607 – NV4022

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.50
Sección post-voladura (m)	4.00x4.60
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.6
Volumen roto (m ³)	66.24
Toneladas rotas (Tn)	211.968
Sobrerotura lograda (%)	4%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	53.75
Factor carga (kg/m ³)	2.92
Factor carga (kg/Tn)	0.91
Costo por disparo (US\$)	334.78
Costo por metro (US\$/m)	101.33

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3 Voladura 20: VE7877 – NV4055. Carguío de labor de avance con emulsión

SanG Aurum UP+, se consumió en total 186.92 kg.

Tabla 36*Datos de campo – VE7877 – NV4055*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	03/08/2023
Labor	VE7877
Nivel	4055
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.00
N° de taladros perforados (und)	41
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	37
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	45

Fuente: Elaboración propia

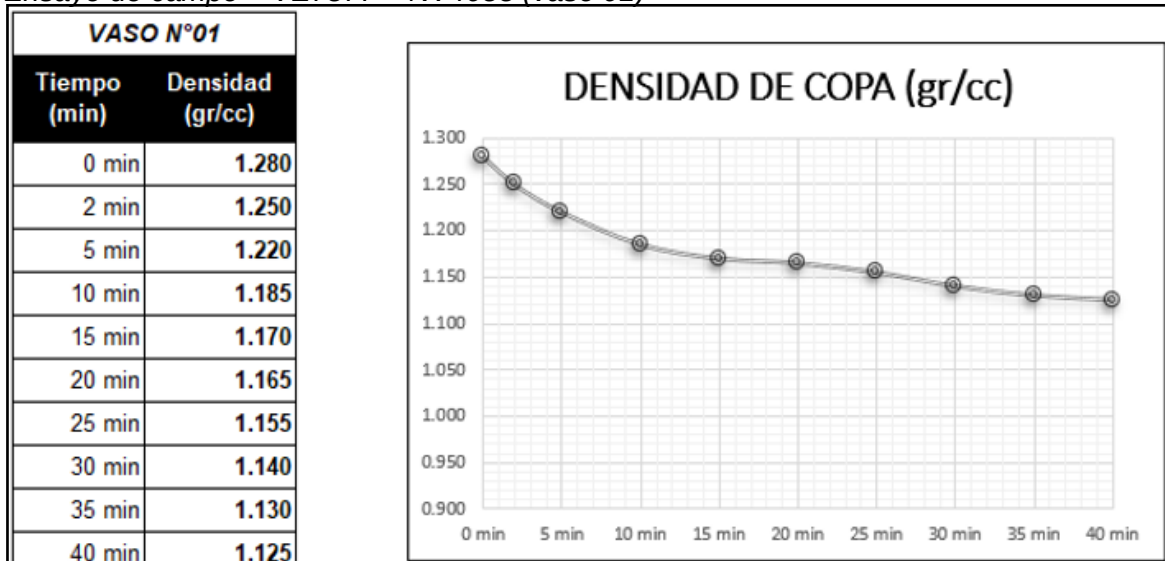
Tabla 37*Datos de carguío y voladura – VE7877 – NV4055*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	37
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	172
Total de explosivo (kg)	186.92
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	37
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 37

Ensayo de campo – VE7877 – NV4055 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

Resultados de voladura – VE7877 – NV4055

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.00
Sección post-voladura (m)	4.20x4.10
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.5
Volumen roto (m ³)	60.27
Toneladas rotas (Tn)	192.864
Sobrerotura lograda (%)	8%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	53.41
Factor carga (kg/m ³)	3.10
Factor carga (kg/Tn)	0.97
Costo por disparo (US\$)	356.10
Costo por metro (US\$/m)	101.74

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Voladura 21: GL7865 – NV4055

Carguío de labor de avance con emulsión SanG Aurum UP+, se consumió en total 177.02 kg.

Tabla 39*Datos de campo – GL7865 – NV4055*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	03/08/2023
Labor	GL7865
Nivel	4055
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.50
N° de taladros perforados (und)	41
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	37
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	45

Fuente: Elaboración propia

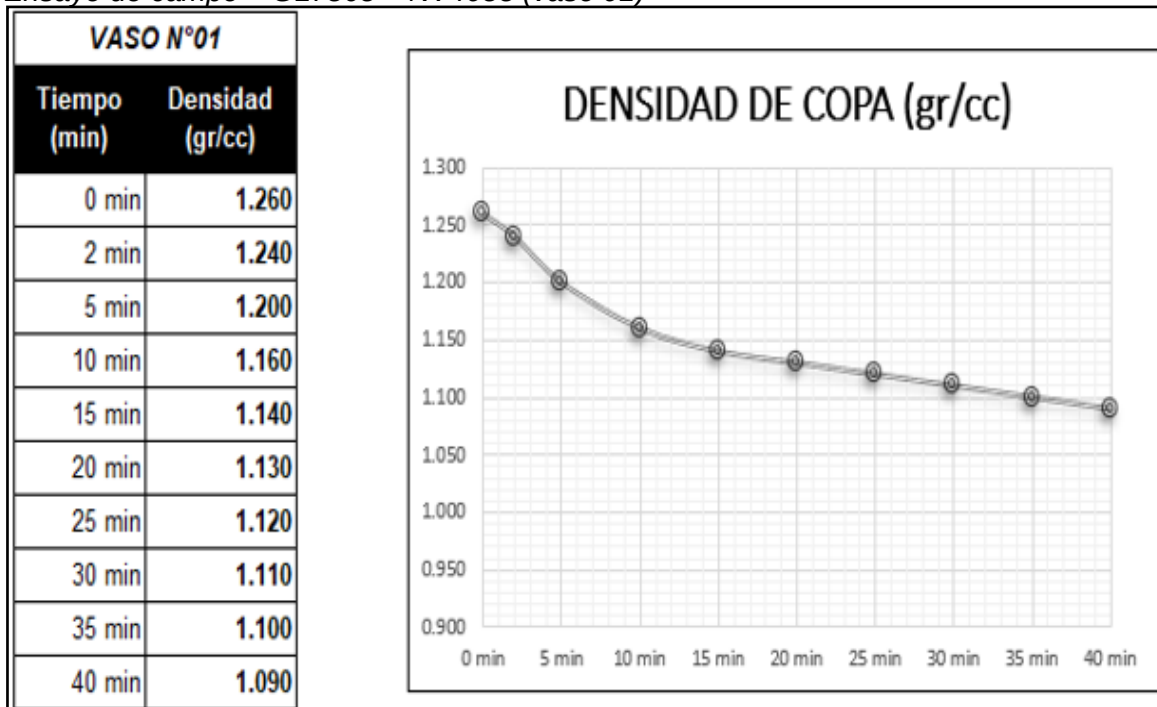
Tabla 40*Datos de carguío y voladura – GL7865 – NV4055*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	37
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	162.1
Total de explosivo (kg)	177.02
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	37
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 38

Ensayo de campo – GL7865 – NV4055 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 41

Resultados de voladura – GL7865 – NV4055

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.50
Sección post-voladura (m)	4.10x4.70
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.5
Volumen roto (m³)	67.45
Toneladas rotas (Tn)	215.824
Sobrerotura lograda (%)	4%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	50.58
Factor carga (kg/m³)	2.62
Factor carga (kg/Tn)	0.82
Costo por disparo (US\$)	340.66
Costo por metro (US\$/m)	97.33

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.5 Voladura 22: VE7726 – NV4058. Carguío de labor de avance con emulsión

SanG Aurum UP+, se consumió en total 179.91 kg.

Tabla 42

Datos de campo – VE7726 – NV4058

DATOS DE CAMPO	
Fecha	04/08/2023
Labor	VE7726
Nivel	4058
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.50
N° de taladros perforados (und)	39
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	35
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43

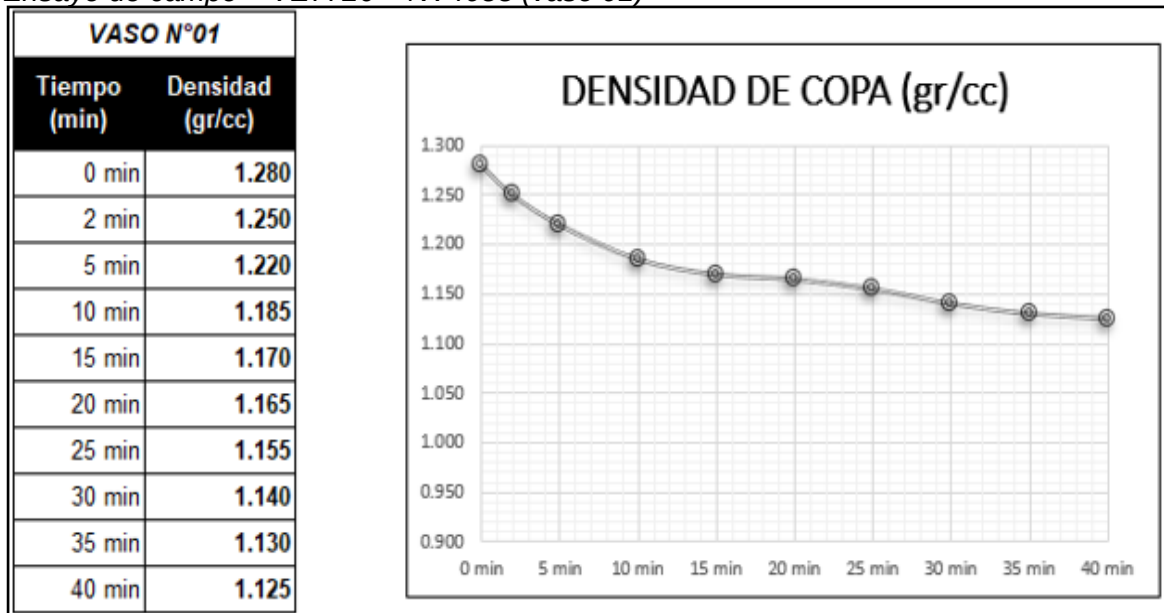
Datos de carguío y voladura – VE7726 – NV4058

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	35
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	165.8
Total de explosivo (kg)	179.91
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	35
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 39

Ensayo de campo – VE7726 – NV4058 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 44

Resultados de voladura – VE7726 – NV4058

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.50
Sección post-voladura (m)	4.10x4.60
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.6
Volumen roto (m ³)	64.8
Toneladas rotas (Tn)	207.36
Sobrerotura lograda (%)	5%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	49.98
Factor carga (kg/m ³)	2.78
Factor carga (kg/Tn)	0.87
Costo por disparo (US\$)	341.95
Costo por metro (US\$/m)	94.99

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.6 Voladura 23: RP346 – NV4022. Carguío de labor de avance con emulsión

SanG Aurum UP+, se consumió en total 202.05 kg.

Tabla 45*Datos de campo – RP346 – NV4022*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	05/08/2023
Labor	RP346
Nivel	4022
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.50
N° de taladros perforados (und)	52
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	48
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	50

Fuente: Elaboración propia

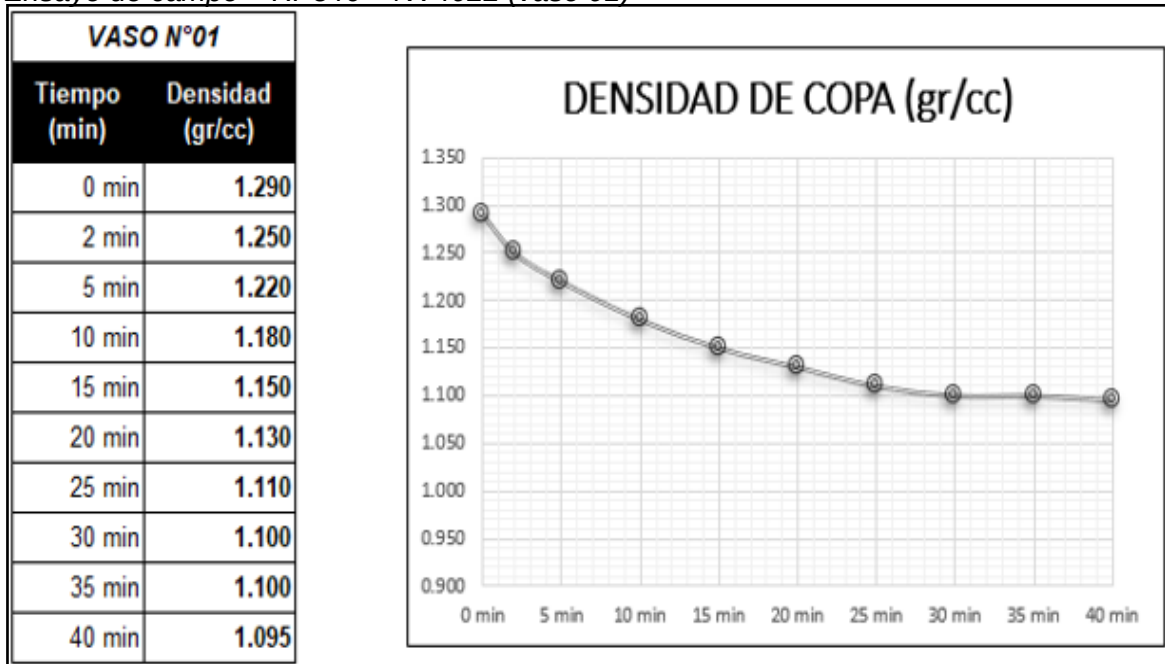
Tabla 46*Datos de carguío y voladura – RP346 – NV4022*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	48
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	182.7
Total de explosivo (kg)	202.05
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	48
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 40

Ensayo de campo – RP346 – NV4022 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 47

Resultados de voladura – RP346 – NV4022

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.50
Sección post-voladura (m)	4.10x4.60
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.7
Volumen roto (m ³)	69.78
Toneladas rotas (Tn)	223.302
Sobrerotura lograda (%)	7%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	54.61
Factor carga (kg/m ³)	2.90
Factor carga (kg/Tn)	0.90
Costo por disparo (US\$)	397.43
Costo por metro (US\$/m)	107.41

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.7 Voladura 24: VE7865 – NV4055. Carguío de labor de avance con emulsión

SanG Aurum UP+, se consumió en total 6520 kg.

Tabla 48*Datos de campo – VE7865 – NV4055*

DATOS DE CAMPO	
Fecha	19/08/2023
Labor	VE7865
Nivel	4055
Tipo de voladura	Avance
Sección planeada (m)	4.00x4.50
N° de taladros perforados (und)	42
N° de taladros de alivio (und)	4
N° de taladros cargados (und)	38
Long de barra (pies)	14
Perforación efectiva (m)	3.9
Densidad de roca (gr/cc)	3.2
RMR	45

Fuente: Elaboración propia

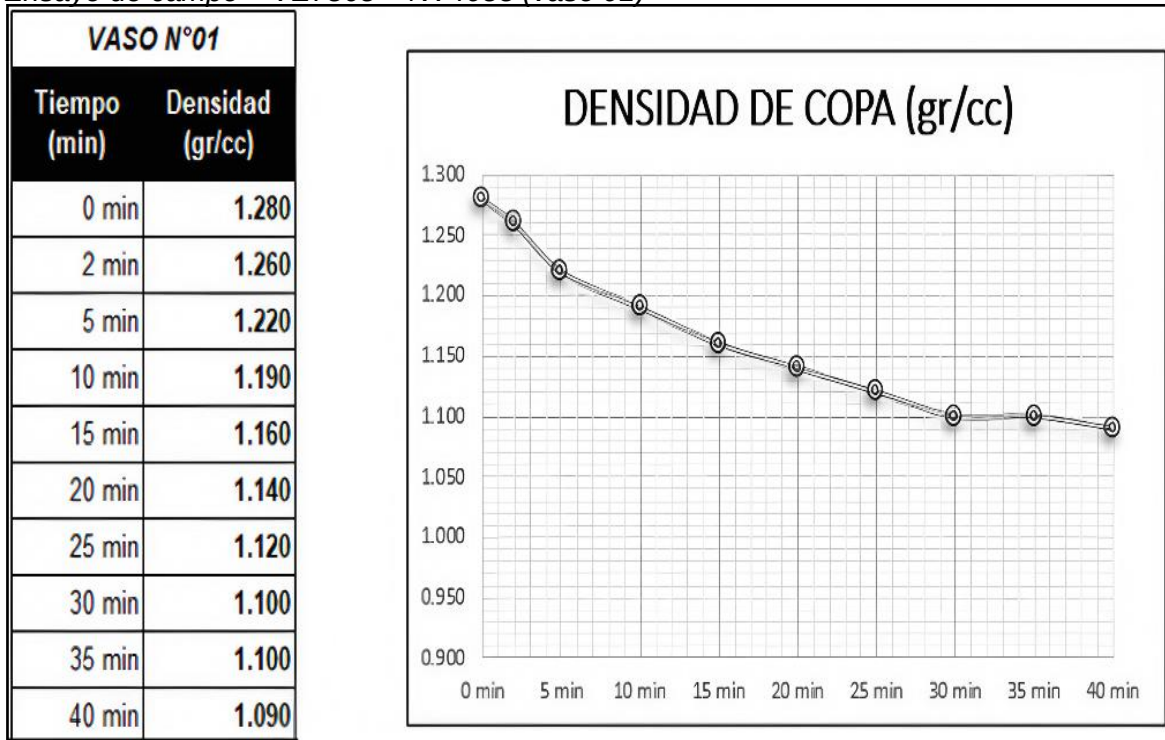
Tabla 49*Datos de carguío y voladura – VE7865 – NV4055*

DATOS DE CARGUIO Y VOLADURA	
Emulnor 5000 1 1/2"x12" (und)	38
Tipo de emulsión	SANG AURUM UP+
Cantidad de emulsión (kg)	168.0
Total de explosivo (kg)	183.32
Fanel MS-1.1B (und)	0
Fanel LP 4.2m-1.1B (und)	38
Cordón detonante 5P (m)	20
Camex 2.10 m (und)	2
Mecha rápida Z-18 (m)	0.2

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Ensayo de campo – VE7865 – NV4055 (vaso 01)



Fuente: Elaboración propia

Tabla 50

Resultados de voladura – VE7865 – NV4055

RESULTADOS DE VOLADURA	
Sección pre-voladura (m)	4.00x4.50
Sección post-voladura (m)	4.00x4.70
P80 (Pulg)	0
Avance efectivo (m)	3.6
Volumen roto (m ³)	66.24
Toneladas rotas (Tn)	211.968
Sobrerotura lograda (%)	4%
Eficiencia av. Logrado (%)	80%
Factor avance (kg/m)	50.92
Factor carga (kg/m ³)	2.77
Factor carga (kg/Tn)	0.86
Costo por disparo (US\$)	352.10
Costo por metro (US\$/m)	97.81

Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Resultados de indicadores – Producción

4.1.1.1 Factor de carga (kg/Tn). De acuerdo a los resultados obtenidos en Agosto 2023 se evidencia un factor de carga promedio de 0,58 kg/Tn, es decir por cada tonelada rota de mineral se utiliza 0.58 kg de emulsión a granel.

Tabla 51

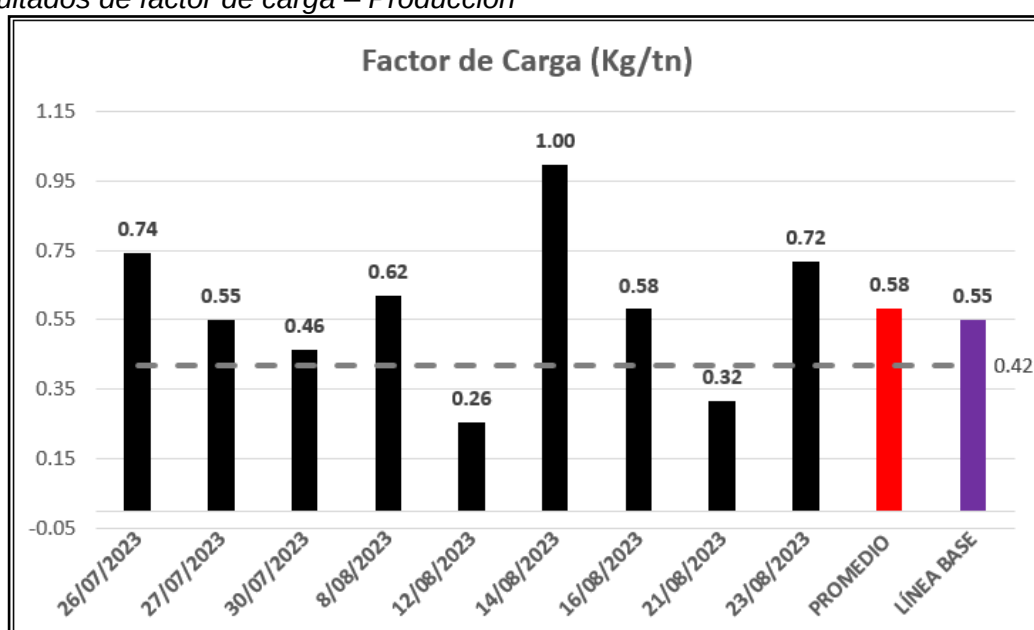
Resultados de factor de carga – Producción

FECHA	LABOR	FACTOR DE CARGA (kg/tn)
26/07/2023	TJ590	0.74
27/07/2023	TJ1434N	0.55
30/07/2023	TJ978S	0.46
08/08/2023	TJ1434N	0.62
12/08/2023	TJ1518S	0.26
14/08/2023	TJ790N	1.00
16/08/2023	TJ565N	0.58
21/08/2023	TJ690	0.32
23/08/2023	TJ1574S	0.72
Promedio		0.58
LINEA BASE		0.55

Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Resultados de factor de carga – Producción



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Fragmentación P80 (Pulg). El análisis de fragmentación realizado en el mes de agosto 2023 se muestra en la siguiente tabla, con un promedio de 5.02 pulgadas.

Tabla 52

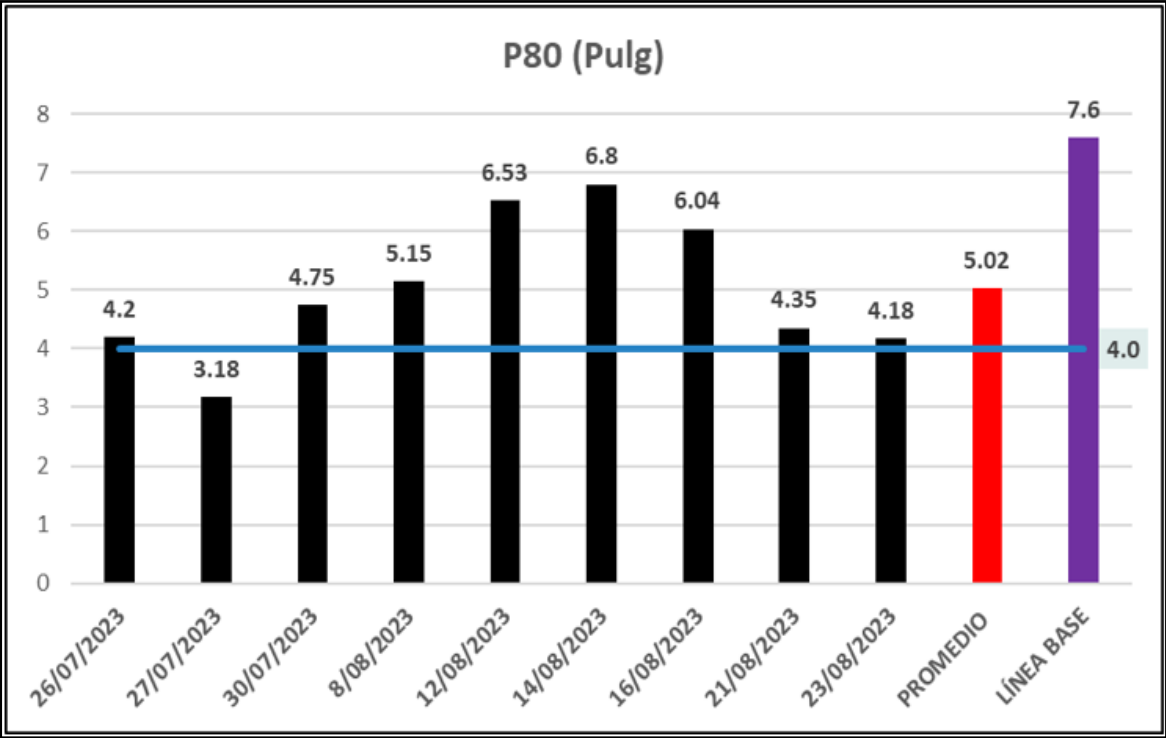
Resultados de fragmentación – Producción

FECHA	LABOR	P80 (Pulg)
26/07/2023	TJ590	4.20
27/07/2023	TJ1434N	3.18
30/07/2023	TJ978S	4.75
08/08/2023	TJ1434N	5.15
12/08/2023	TJ1518S	6.53
14/08/2023	TJ790N	6.80
16/08/2023	TJ565N	6.04
21/08/2023	TJ690	4.35
23/08/2023	TJ1574S	4.18
Promedio		5.02
LINEA BASE		7.60

Fuente: Elaboración propia

Figura 43

Resultados de fragmentación – Producción



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 Costo de explosivo por tonelada rota (US\$/Tn). En el cuadro siguiente se muestra el costo del explosivo por tonelada rota de mineral para cada voladura obteniéndose un promedio de 0.797 U\$/Tn.

Tabla 53

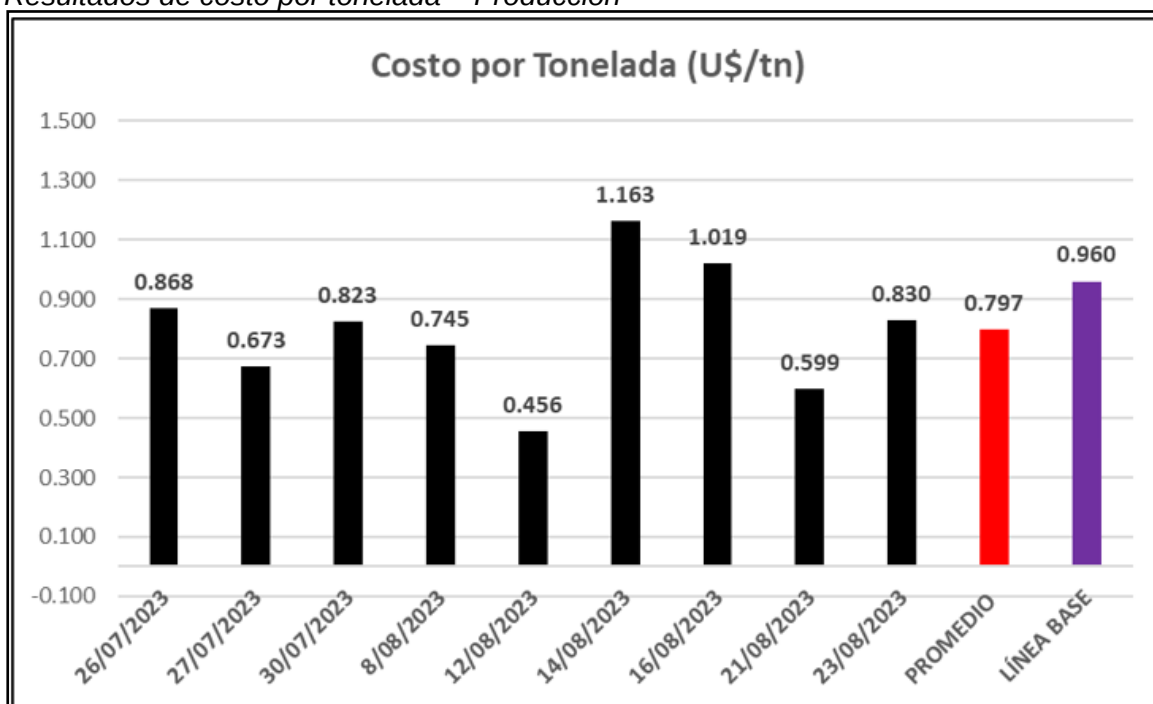
Resultados de costo por tonelada – Producción

FECHA	LABOR	COSTO POR TONELADA (US\$/Tn)
26/07/2023	TJ590	0.87
27/07/2023	TJ1434N	0.67
30/07/2023	TJ978S	0.82
08/08/2023	TJ1434N	0.75
12/08/2023	TJ1518S	0.46
14/08/2023	TJ790N	1.16
16/08/2023	TJ565N	1.02
21/08/2023	TJ690	0.60
23/08/2023	TJ1574S	0.83
Promedio		0.80
LINEA BASE		0.96

Fuente: Elaboración propia

Figura 44

Resultados de costo por tonelada – Producción



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Resultados de indicadores – Avance

4.1.2.1 Factor de carga (Kg/Tn). De acuerdo a los resultados obtenidos en Agosto 2023 se evidencia un factor de carga promedio de 0,90kg/Tn, es decir por cada tonelada rota de mineral se utiliza 0.90 kg de emulsión Bombeable.

Tabla 54

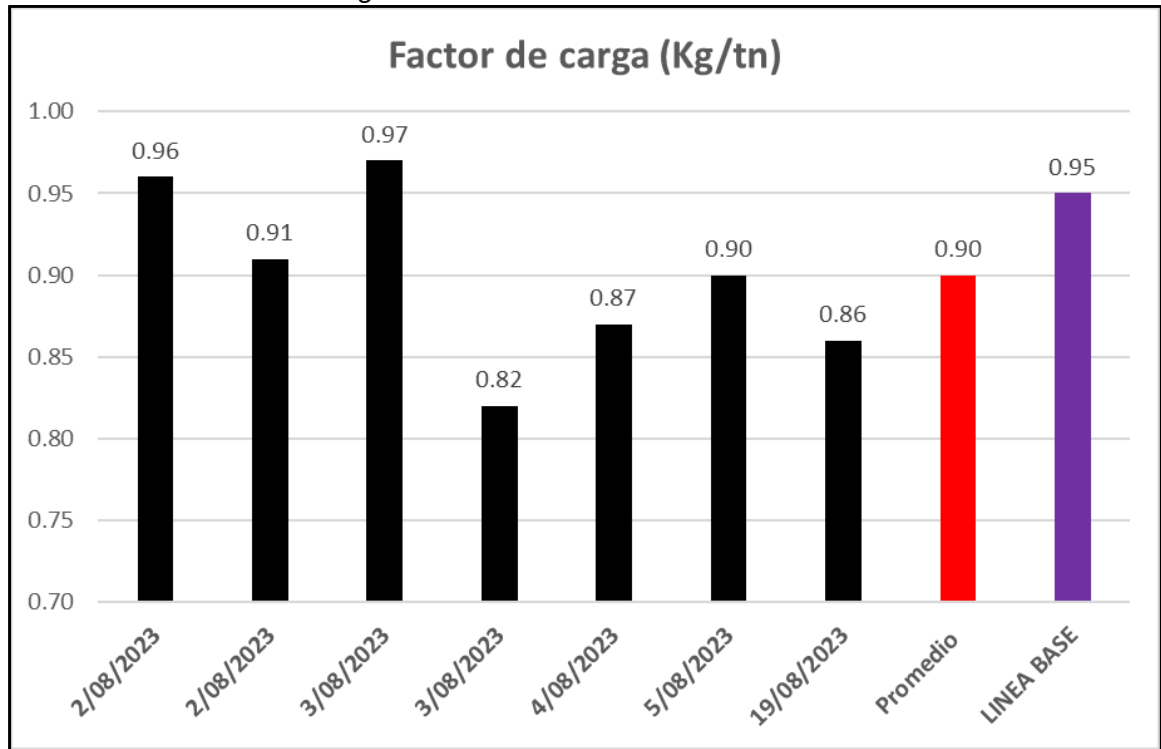
Resultados de factor de carga – Avance

FECHA	LABOR	FACTOR DE CARGA (Kg/Tn)
02/08/2023	VE840	0.96
02/08/2023	GL607	0.91
03/08/2023	VE7877	0.97
03/08/2023	GL7865	0.82
04/08/2023	VE7726	0.87
05/08/2023	RP346	0.90
19/08/2023	VE7865	0.86
Promedio		0.90
LINEA BASE		0.95

Fuente: Elaboración propia

Figura 45

Resultados de factor de carga – Avance



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.2 Avance efectivo (m). De acuerdo a los resultados obtenidos en Agosto 2023 se evidencia un avance efectivo promedio de 3.56 m.

Tabla 55

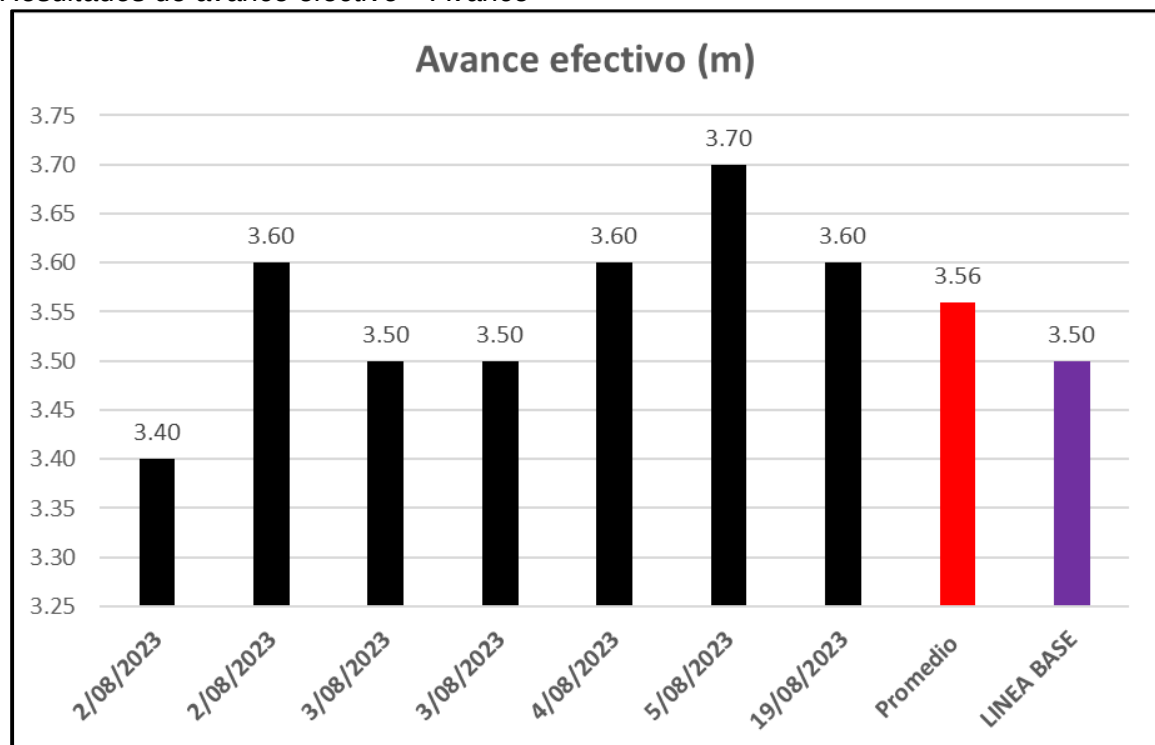
Resultados de avance efectivo – Avance

FECHA	LABOR	AVANCE EFECTIVO (m)
02/08/2023	VE840	3.40
02/08/2023	GL607	3.60
03/08/2023	VE7877	3.50
03/08/2023	GL7865	3.50
04/08/2023	VE7726	3.60
05/08/2023	RP346	3.70
19/08/2023	VE7865	3.60
Promedio		3.56
LINEA BASE		3.50

Fuente: Elaboración propia

Figura 46

Resultados de avance efectivo – Avance



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.3 Costo de explosivo por metro (US\$/m). En el cuadro siguiente se muestra el costo del explosivo por tonelada rota de mineral para cada voladura obteniéndose un promedio de 100.54 US\$/M.

Tabla 56

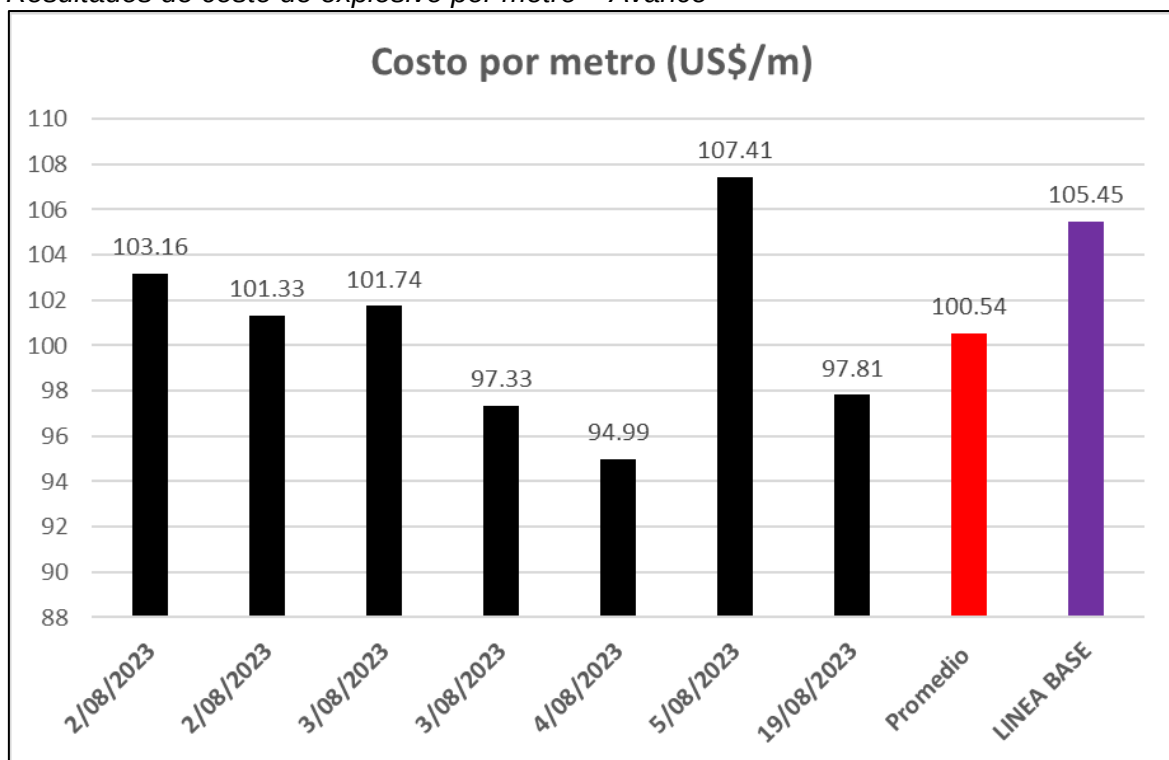
Resultados de costo de explosivo por metro – Avance

FECHA	LABOR	COSTO POR METRO (US\$/m)
02/08/2023	VE840	103.16
02/08/2023	GL607	101.33
03/08/2023	VE7877	101.74
03/08/2023	GL7865	97.33
04/08/2023	VE7726	94.99
05/08/2023	RP346	107.41
19/08/2023	VE7865	97.81
Promedio		100.54
LINEA BASE		105.45

Fuente: Elaboración propia

Figura 47

Resultados de costo de explosivo por metro – Avance



Fuente: Elaboración propia

4.1.2.4 Factor de avance (kg/m). En el cuadro siguiente se muestra el factor de avance para cada voladura obteniéndose un promedio de 52.50U\$/M.

Tabla 57

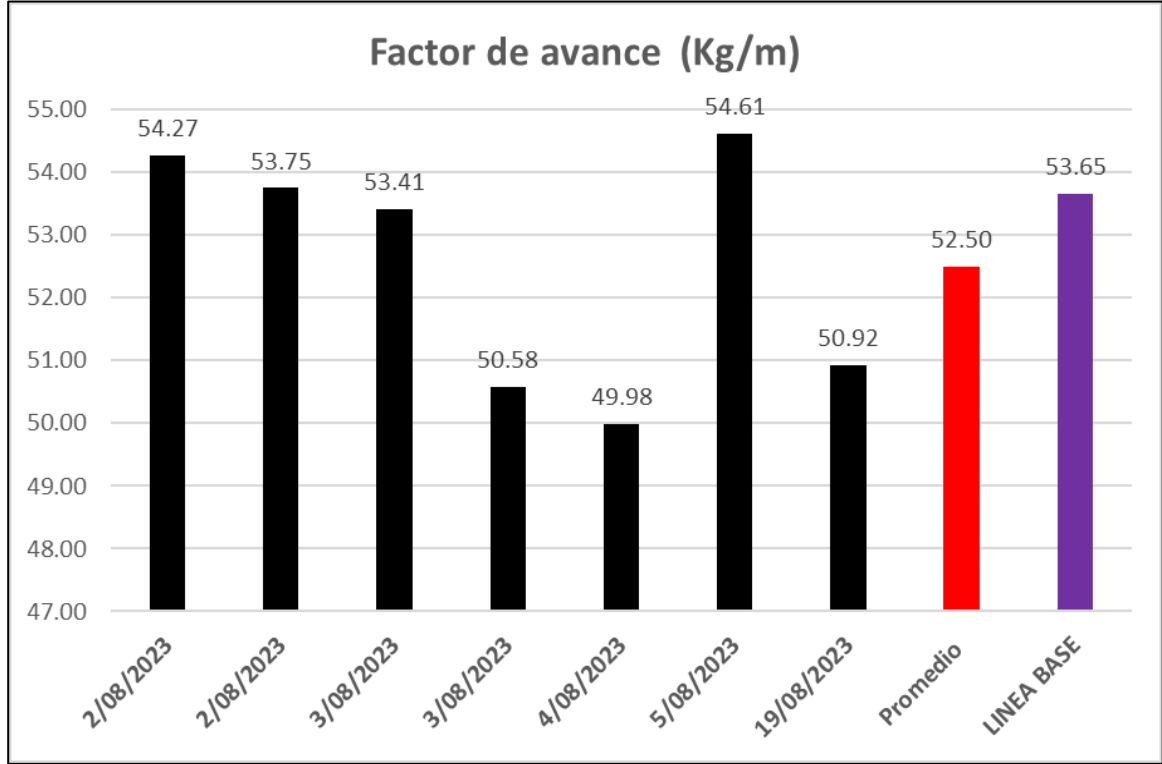
Resultados de factor de avance – Avance

FECHA	LABOR	FACTOR DE AVANCE (KG/m)
02/08/2023	VE840	54.27
02/08/2023	GL607	53.75
03/08/2023	VE7877	53.41
03/08/2023	GL7865	50.58
04/08/2023	VE7726	49.98
05/08/2023	RP346	54.61
19/08/2023	VE7865	50.92
Promedio		52.50
LINEA BASE		53.65

Fuente: Elaboración propia

Figura 48

Resultados de factor de avance – Avance



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Consumo, volumen roto y avance ejecutado

En el mes de agosto se rompió 81,105.83 TN de mineral en los siguientes tajos teniendo un consumo total de 50536.4 Kg de emulsión a granel.

Tabla 58

Consumo y volumen roto – Producción

FECHA	LABOR	NIVEL	TIPO DE EMULSIÓN	TOTAL DE EMULSIÓN (Kg)	TONELADAS ROTAS
26/07/2023	TJ590	4055	SANG APU	8200	11059.2
27/07/2023	TJ1434N	3952	SANG APU	2294	4172.8
30/07/2023	TJ978S	4152	SANG AURUM UP+	1735	3732.5
08/08/2023	TJ1434N	3952	SANG APU	11640.4	18777.6
12/08/2023	TJ1518S	3922	SANG AURUM UP+	2801	10953.6
14/08/2023	TJ790N	3988	SANG APU	10500	10521.6
16/08/2023	TJ565N	4055	SANG AURUM UP+	6134	10567.7
21/08/2023	TJ690	4085	SANG AURUM UP+	712	2260.1
23/08/2023	TJ1574S	3892	SANG APU	6520	9060.5
Total				50536.4	81105.5

Fuente: Elaboración propia

En las voladuras programadas en frentes se realizó avance efectivo de 24.9. rompiéndose 1454.77 TN de mineral, con una eficiencia de avance al 91% con un consumo total de 1199.6 Kg de emulsión a granel y un factor de avance de 52.50 kg/m.

Tabla 59

Consumo y avance ejecutado – Avance

FECHA	LABOR	NIVEL	Tipo de emulsión	Total de emulsión (kg)	Avance efectivo	Toneladas rotas	Eficiencia de avance lograda (%)	Factor de avance (kg/m)
02/08/2023	VE840	4022	SANG AURUM UP+	170	3.40	191.49	87%	54.27
02/08/2023	GL607	4022		179	3.60	211.97	92%	53.75
03/08/2023	VE7877	4055		172	3.50	192.86	90%	53.41
03/08/2023	GL7865	4055		162.1	3.50	215.82	90%	50.58
04/08/2023	VE7726	4058		165.8	3.60	207.36	92%	49.98
05/08/2023	RP346	4022		182.7	3.70	223.30	95%	54.61
19/08/2023	VE7865	4055		168	3.60	211.97	92%	50.92
Total / Promedio				1199.6	3.56	1454.77	91%	52.50

Fuente: Elaboración propia

4.2 Validación de hipótesis

En esta sección del trabajo de investigación, iniciamos planteando la hipótesis nula y alternativa, siendo:

- H0: El uso adecuado de tecnología de emulsión a granel no permitirá obtener mejores resultados en indicadores de productividad
- HA: El uso adecuado de tecnología de emulsión a granel permitirá obtener mejores resultados en indicadores de productividad

Tabla 60

Resumen de mejora en indicadores

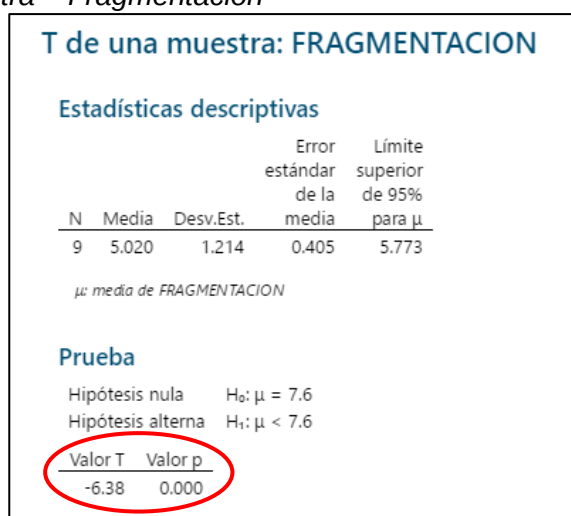
Tipo de disparo	Indicador	Unidad	Antes (Emulsión encartuchada)	Después (Emulsión a granel)
Producción	Factor de carga	Kg/tn	0.50	0.58
	P80	Pulg.	7.60	5.02
	Costo por tonelada	US\$/tn	0.96	0.80
Avance	Factor de carga	Kg/tn	0.95	0.90
	Avance efectivo	m	3.50	3.56
	Costo por metro	US\$/m	105.45	100.54
	Factor de avance	Kg/m	53.65	52.50

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis se usará la información mostrada en las tablas 52 y 53 que detallas los resultados de indicadores, tales como la fragmentación y el costo de explosivo por tonelada, además de la línea base para la comparación. Nos ayudamos del software Minitab para la evaluación de la prueba t.

Figura 49

Prueba t de una muestra – Fragmentación



Fuente: Elaboración propia

Figura 50

Prueba t de una muestra – Costo de explosivo por tonelada



Fuente: Elaboración propia

En ambos casos se consideró un nivel de confianza de 95%, por lo que para poder rechazar la hipótesis nula se requiere un valor de p menor a 0.05. El tamaño de muestra es de $n = 9$, voladuras de producción realizadas.

Como se aprecia en las figuras anteriores dicho valor es menor a 0.05 en ambos casos. Por lo que podemos afirmar que “El uso adecuado de tecnología de emulsión a granel permitirá obtener mejores resultados en indicadores de productividad”.

Conclusiones

Las pruebas de voladura se realizaron en un periodo de un mes; del 26 de julio al 23 de agosto del año 2023; donde se ejecutaron 9 voladuras de producción y 7 voladuras de avance.

Durante el periodo de pruebas, se logró una rotura efectiva de 81,105 toneladas de mineral en labores de producción y un avance de 24.9 metros con 1,454 toneladas en labores de desarrollo, lo que evidencia una adecuada planificación y ejecución del ciclo de minado mediante el uso de emulsiones a granel.

El valor promedio de P80 obtenido fue de 5.02 pulgadas, lo que cumple con los estándares establecidos por mina para las voladuras de SLS, reflejando un adecuado diseño y ejecución de las voladuras que garantiza una fragmentación eficiente del macizo rocoso.

El factor de carga promedio de 0.55 kg/Tn en las voladuras de SLS demuestra una adecuada dosificación del explosivo, permitiendo optimizar el consumo sin comprometer la calidad de la voladura ni la seguridad operativa.

Se obtuvo un costo promedio de explosivo de 0.797 USD/tonelada, lo que refleja un equilibrio entre eficiencia técnica y sostenibilidad económica, destacando la competitividad de la emulsión a granel frente a otras tecnologías de voladura.

El uso de densidades diferenciadas (1.10 g/cc para taladros centrales y 0.90 g/cc para contornos) permitió mejorar el control de la voladura, especialmente en zonas críticas, preservando la estabilidad de los frentes y evitando sobre-roturas. Las emulsiones SanG Apu y SanG Aurum Up+ ofrecieron la flexibilidad necesaria para adaptar la energía del explosivo según las condiciones geomecánicas de cada labor.

Las Vibraciones Particulares de Partícula (VPP) registradas durante las voladuras se mantuvieron por debajo de los límites críticos establecidos según los estudios geomecánicos de mina, lo que garantiza la integridad del macizo rocoso y contribuye al sostenimiento eficiente de las labores subterráneas.

La aplicación de tecnología de emulsión a granel en minería subterránea ha demostrado su eficacia en la mejora de los principales indicadores de producción, fragmentación, costos y seguridad, consolidándose como una herramienta clave para incrementar la productividad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

Recomendaciones

Dado el buen desempeño técnico y económico en las labores de SLS, se recomienda evaluar la implementación progresiva de emulsión a granel en otras zonas o métodos de explotación subterránea, previa validación geomecánica.

El uso de tecnología como la emulsión a granel requiere que el personal operativo y técnico esté capacitado en diseño de voladura, manejo de emulsiones, control de vibraciones y monitoreo de indicadores, con el fin de maximizar su potencial y evitar errores de aplicación.

Continuar con el monitoreo de las VPP en cada voladura, para garantizar que se mantengan por debajo de los límites críticos establecidos, preservando la seguridad de las labores y la integridad del macizo rocoso.

Referencias bibliográficas

- Alcaíno, J. (2018), *Uso de emulsión en el desarrollo horizontal del proyecto mina Chuquicamata subterránea.*
- Ayuque, M. (2020) *Mejora de los rendimientos de avance por disparo en la Cía. Minera Chungar S.A.C.*
- Beraun, K. (2019), *Análisis comparativo y evaluación técnica económica de los explosivos Heavy Anfo y Emulsión Fortis Advantage 100 gasificada para la fragmentación en el tajo norte del nivel 4336 – Sociedad Minera El Brocal Colquijirca.*
- Bernaola, J. et al (2013). *Perforación y Voladura de Rocas en Minería.*
- Calvo, A. (2019), *Evaluación de estabilidad fisicoquímica de dos tipos de explosivos en emulsión fabricados por Indumil Colombia.*
- Centromin Perú (2014), *Manual De Perforación y Voladura De Rocas.*
- Cortes, L. (2011), *Producción de emulsiones poliméricas a partir de poliestireno post - consumo con posterior aplicación en la fabricación de aglomerado.*
- Famesa Explosivos (2010), *Carguío Mecanizado con Emulsión a Granel.*
- Famesa Explosivos (2019), *Beneficios de Emulsión Bombeable.*
- Famesa Explosivos (2020), *Tecnología Bombeable a granel en minería Subterránea.*
- Fernandez, A. (2006), *Preparación, caracterización y estabilidad de emulsiones y microemulsiones O / W.*
- Guerra, S. (2013), *Uso de emulsión gasificable para reducir costos de perforación-voladura en minería superficial y subterránea.*
- Hernández, E. (2019), *Estudio comparativo de la sobre-excavación en desarrollos horizontales con ANFO versus desarrollos realizados con emulsión en la Mina Esmeralda, División El Teniente, CODELCO Chile.*
- Jiménez D. (2008) “*Evaluación de un método para la determinación del tamaño de particular en emulsiones explosivas de Fexar,*” Universidad de América.
- Lopez, C. (2011), *Modelo de Estabilidad de Emulsiones Poliméricas.*

- Muñoz, M. (2020), *Emulsión gasificada bombeable y su impacto en la productividad - Mina Huarón* - Pan American Silver S.A.
- Valdivia, T. (2022), *Factibilidad del uso de emulsión a granel en minería subterránea: resultados de pruebas Emultex PDBG*.
- Zea, Y. et al (2021), *Optimización de la granulometría en función de la voladura controlada en Mina Marcapunta Norte*, Sociedad Minera El Brocal, Arequipa 2020.

Anexos

	Pág.
Anexo 1: Formato de registro de información de labor	1
Anexo 2: Formato de control de densidad del producto	2
Anexo 3: Registro de VPP de TJ565 – NV4055	3
Anexo 4: Análisis de fragmentación de TJ1653 – NV3892.....	5

Anexo 1: Formato de registro de información de labor

REGISTRO DE DATOS DE VOLADURA AVANCES								
FECHA		BLOCK		TURNO		HORA INICIAL		N° FILA
LABOR		NIVEL		TIPO CARGUÍO		HORA FINAL		
N° TAL	DIÁM. CARGUÍO	LONG. TAL	KG FONDO	CARGA 1 (KG)	N° RETARDO	TACO FINAL	TIEMPO	DENSIDAD
1							0	
2							5	
3							10	
4							15	
5							20	
6							25	
7							30	
8							35	
9							40	
10							45	
11							50	
12							55	
13							60	
14							65	
15							70	
16							75	
17							80	
18							85	
19							90	
20							95	
21							100	
OBSERVACIONES								

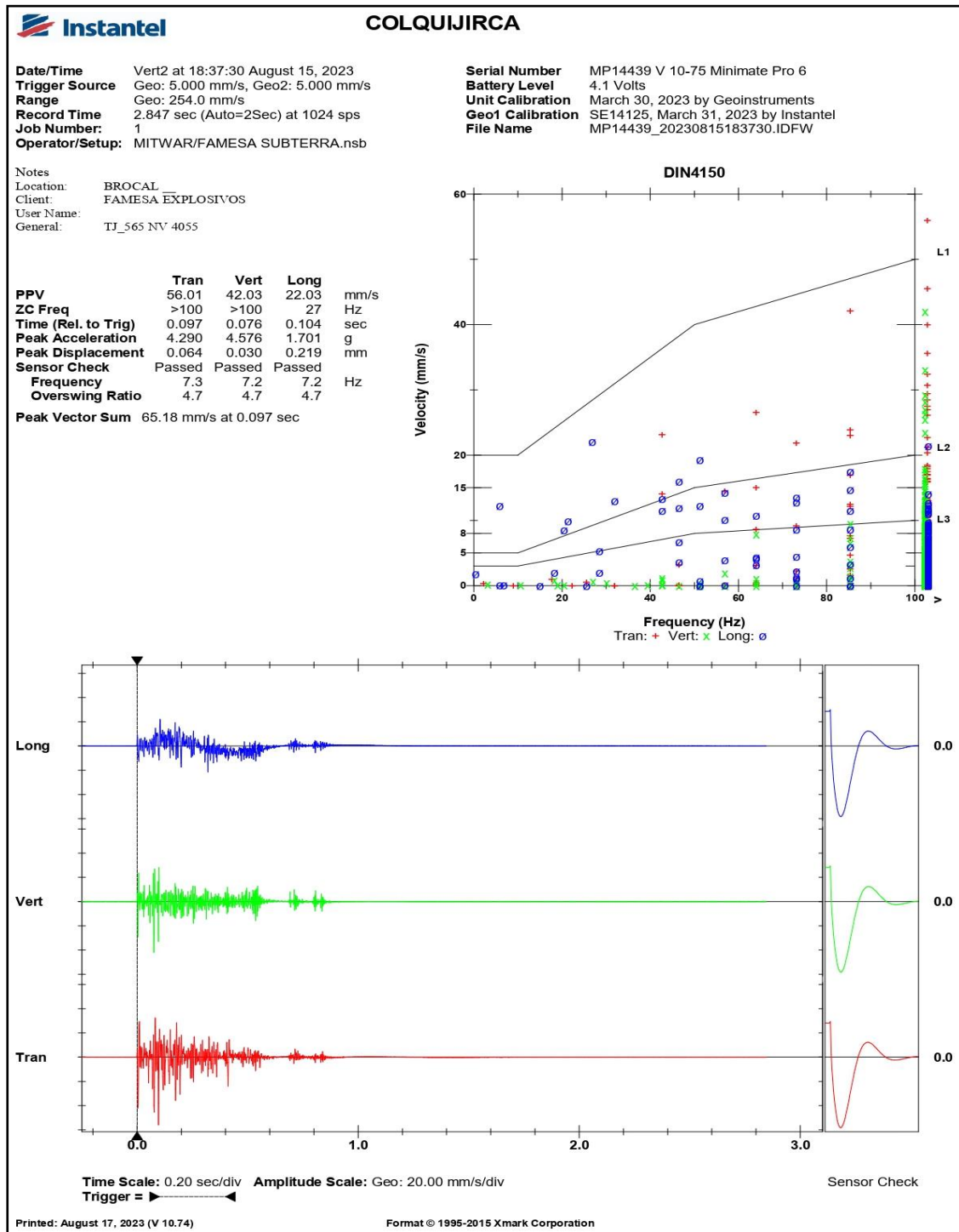
NOMBRE

NOMBRE

Anexo 2: Formato de control de densidad del producto

CONTROL DE DENSIDADES				
PLACA DE CAMION FÁBRICA		OPERADORES		
FECHA DE CARGUÍO		BLASTER		
NIVEL		LABOR		
PRODUCTO				
RPM DE MOTOR				
PRESION DE BOMBA PRODUCTO				
MINERAL / DESMONTE				
LONGITUD DE TALADRO (m)				
DIÁMETRO DE TALADRO				
TEMPERATURA DE EMULSIÓN				
% DE N-30 (PLC)				
PRESIÓN DE BOMBA N-30				
CAUDAL kg/min				
CONTROL DE GASIFICACIÓN	H:	H:	H:	H:
	Densidad (g/cm3)	Densidad (g/cm3)	Densidad (g/cm3)	Densidad (g/cm3)
0 (min)				
2(min)				
5(min)				
10(min)				
15(min)				
20 (min)				
30(min)				
45(min)				
CONTROL DE ESPONJAMIENTO	ALTURA (m)	ALTURA (m)	ALTURA (m)	ALTURA (m)
ALTURA 0 (min)				
ALTURA 30 (min)				
TOTAL DE CRECIMIENTO				
% DE ESPONJAMIENTO				
REALIZADO POR			SUPERVISOR	

Anexo 3: Registro de VPP de TJ565 – NV4055



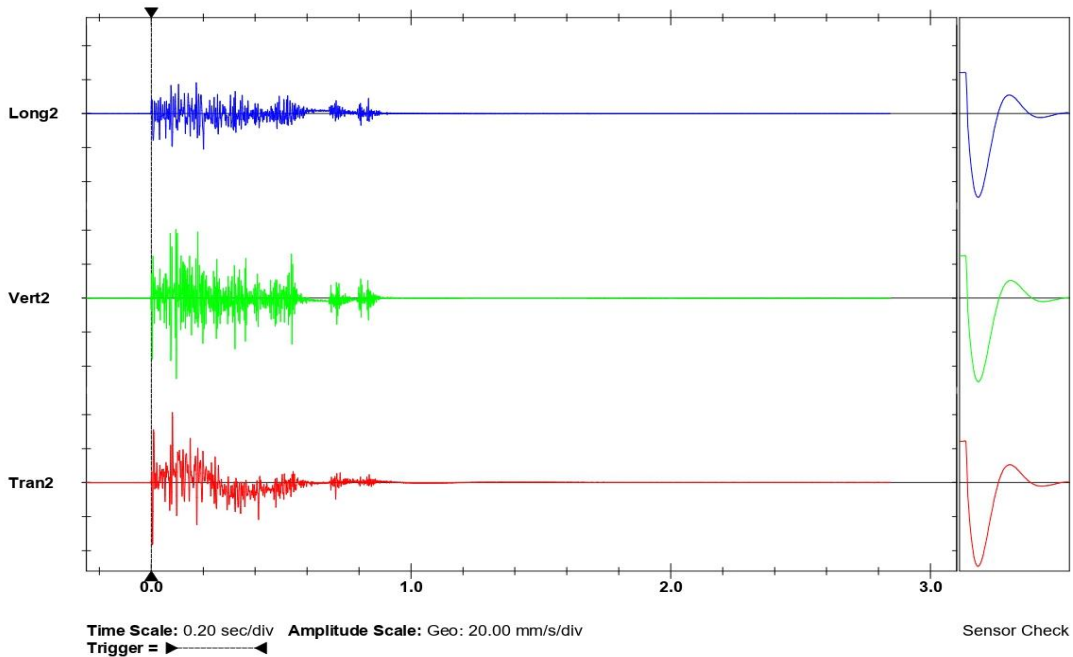
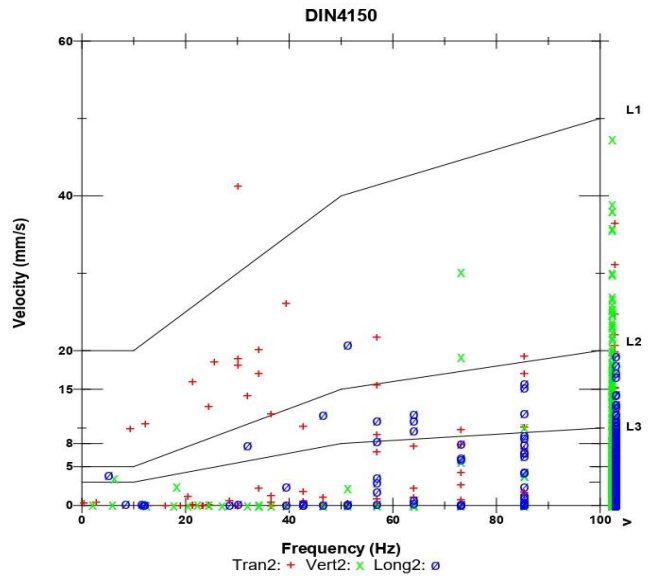
Date/Time Vert2 at 18:37:30 August 15, 2023
Trigger Source Geo: 5.000 mm/s, Geo2: 5.000 mm/s
Range Geo: 254.0 mm/s
Record Time 2.847 sec (Auto=2Sec) at 1024 sps
Job Number: 1
Operator/Setup: MITWAR/FAMESA SUBTERRA.nsb

Serial Number MP14439 V 10-75 Minimate Pro 6
Battery Level 4.1 Volts
Unit Calibration March 30, 2023 by Geoinstruments
Geo2 Calibration SE14124, March 31, 2023 by Instantel
File Name MP14439_20230815183730.IDFW

Notes
Location: BROCAL
Client: FAMESA EXPLOSIVOS
User Name:
General: TJ_565 NV 4055

	Tran2	Vert2	Long2	
PPV	41.32	47.28	20.82	mm/s
ZC Freq	30	>100	51	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.081	0.097	0.201	sec
Peak Acceleration	3.189	5.776	1.924	g
Peak Displacement	0.113	0.059	0.084	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.2	7.4	Hz
Overswing Ratio	4.7	4.8	4.5	

Peak Vector Sum 48.60 mm/s at 0.097 sec



Anexo 4: Análisis de fragmentación de TJ1653 – NV3892

