

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



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis del diseño de la perforación y voladura para reducir la  
dilución de mineral en vetas angostas en minería aurífera  
subterránea**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas

Elaborado por

Jorge Miguel Lázaro Suárez

 [0009-0003-1189-1232](https://orcid.org/0009-0003-1189-1232)

Asesor

M.Sc. José Antonio Corimanya Mauricio

 [0000-0003-1078-4155](https://orcid.org/0000-0003-1078-4155)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How tú cite	Lázaro Suárez [1]
Referencia/Reference	[1] J. Lázaro Suárez, “Análisis del diseño de la perforación y voladura para reducir la dilución de mineral en vetas angostas en minería aurífera subterránea”. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---

---

Citar/How to cite	(Lázaro, 2024)
Referencia/Reference	Lázaro, J. (2024). <i>Análisis del diseño de la perforación y voladura para reducir la dilución de mineral en vetas angostas en minería aurífera subterránea</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

## **Dedicatoria**

A mis padres que me apoyaron en todo momento en el logro de mis aspiraciones profesionales, amigos y trabajadores de la U.E.A Retamas quienes me compartieron sus conocimientos y experiencia en minería, lo cual me permitió complementar lo aprendido en la universidad.

## Resumen

El minado subterráneo en la búsqueda de mejorar sus procesos operativos se ocupa de identificar aquellos problemas que le generen mayor impacto en el cumplimiento de sus objetivos, con el fin de aumentar su productividad y rentabilidad. Entre los problemas que afecta el minado subterráneo la dilución de mineral constituye una amenaza a la planificación y operación minera por lo cual se precisa un estudio detallado de su impacto y se plantean planes de mitigación.

La unidad de análisis y toma de datos se realizó en la Unidad económica administrativa San Andrés perteneciente a la compañía Minera Aurífera Retamas S.A., ubicada en la región La Libertad, provincia de Pataz, durante el periodo julio 2021 a junio 2022.

La presente investigación desarrolla el análisis de la disminución de la dilución mineral en tajos a partir del control de la altura de minado. El control de la altura de minado se efectuó a través de la selección de un explosivo de bajo nivel energético para los taladros de voladura controlada y un rediseño de la malla de perforación y voladura. El estudio se aplicó en métodos de explotación altamente selectivos como Corte y relleno ascendente, Recuperación de puentes y pilares, Tajo cámara y Long Wall. Se presentan vetas angostas de una potencia variable en el rango de 0.1 a 2m con orientación predominantemente subhorizontal emplazados en la caja techo y piso de calidad del macizo rocoso del tipo de roca IV-B a III-B el cual comprende un RMR (Rock Mass Rating) de 21 a 60, bajo la influencia de fallas subverticales y alta presión litostática.

Para el análisis de la disminución de dilución entre la gran variedad de factores técnicos y humanos que le afectan, nos centramos en los factores técnicos referidos a los parámetros de potencia de veta, ley de mineral y altura de minado. Para el estudio los dos primeros parámetros son altamente variables, en el caso de la altura de minado esta puede ser controlada por medio de la aplicación de técnicas de ingeniería. En virtud de lo mencionado anteriormente se plantea la disminución de la dilución como resultado del control de la

altura de minado. El control de la altura de minado siguió una serie de pasos que se detallan a continuación.

Se inicia con una metodología de selección de explosivos que parte del diagnóstico de la calidad del macizo rocoso. Basándose en la relación directamente proporcional entre calidad de la roca y requerimiento energético de los explosivos. Se realizó una evaluación de catálogo de las diferentes gammas de explosivos disponibles en el mercado.

El explosivo elegido en sus diferentes presentaciones fue sometido a pruebas de campo para validar sus propiedades fisicoquímicas de catálogo.

Determinado el explosivo se procede al rediseño de la malla de perforación y voladura para tajos. Para los taladros de voladura controlada se usó Emulnor 500 1" x 24" y para los de producción Emulnor 1000-3000 1 1/8" x 16". Implementado el nuevo explosivo se realizó un seguimiento de campo de los tajos donde se recogió información de la altura de minado. Con el fin de tener un mayor alcance respecto a la relación entre altura de minado y dilución, se usó la data de medición mensual de lineales y tajos por parte del área de Ingeniería.

Producto del rediseño de la malla de perforación y voladura se disminuye la dilución mineral en 11.36% y la altura de minado en 9.93%. Se actualizan los precios unitarios de la explotación de tajos reduciéndose en 10% representando una disminución del costo de explotación promedio mensual de 71,173.98 Soles. Resultado del control de la altura de minado programado las toneladas explotadas se reducen en un promedio mensual de 1,002.07 TN y la ley de cabeza se incrementa en 8% manteniéndose de esta forma la cantidad de finos de oro. La reducción de toneladas explotadas de mineral implica una reducción promedio mensual del costo de extracción con locomotora de 5,982.54 Soles y traslado con volquete de 20,392.20 Soles. La reducción promedio mensual del costo de explotación y transporte de mineral es de 97,753.73 Soles y anual de 1,170, 584.75 Soles.

Palabras clave — Minado, explosivos, dilución, control, rediseño

## Abstract

Underground mining in the search to improve its operational processes is responsible for identifying those problems that generate the greatest impact on the fulfillment of its objectives, in order to increase its productivity and profitability. Among the problems affecting underground mining, the dilution of ore constitutes a threat to mining planning and operation, which is why a detailed study of its impact is required and mitigation plans are proposed.

The analysis and data collection unit were carried out in the San Andrés Administrative Economic Unit belonging to company Minera Aurífera Retamas S.A., located in the La Libertad region, Pataz province, during the period September 2021 to May 2022.

The present research develops the analysis of the decrease of mineral dilution in pits from the control of the mining height. The control of the mining height was carried out through the selection of a low energy explosive for the controlled blasting drills and a redesign of the drilling and blasting mesh. The study was applied in highly selective exploitation methods such as Cutting and ascending filling, Recovery of bridges and pillars, Pit chamber and Long Wall. There are narrow veins of variable power in the range of 0.1 to 2m with predominantly subhorizontal orientation located in roof box and quality floor of the rock massif of rock type IV-B to III-B which comprises an RMR (Rock Mass Rating) of 21 to 60, under the influence of subvertical faults and high lithostatic pressure.

To analyze the decrease in dilution among the wide variety of technical and human factors that affect it, we focus on the technical factors referred to the parameters of vein power, mineral grade and mining height. For the study, the first two parameters are highly variable; in the case of the mining height, this can be controlled through the application of engineering techniques. By virtue of the aforementioned, the reduction of dilution is proposed through the control of the mining height. The control of the mining height followed a series of steps detailed below.

It begins with an explosive selection methodology that is based on the diagnosis of the quality of the rock mass. Based on the directly proportional relationship between rock quality and energy requirement of the explosives. A catalog evaluation of the different ranges of explosives available on the market was carried out.

Once the explosive has been determined, the drilling and blasting mesh for pits is redesigned. Emulnor 500 1" x 24" was used for controlled blasting drills and Emulnor 1000-3000 1 1/8" x 16" for production drills. Once the new explosive was implemented, field monitoring of the pits was carried out where information was collected. of mining height. In order to have a greater scope regarding the relationship between mining height and dilution, the monthly measurement data of linear and pits by the Engineering area was used.

As a result of the redesign of the drilling and blasting mesh, mineral dilution is reduced by 12.65% and mining height by 9.37%. The unit prices for pit exploitation are updated and reduced by 10%, representing a decrease in the average monthly exploitation cost of 71,173.98 Soles. As a result of the control of the planned mining height, the exploited tons are reduced by a monthly average of 1,002.07 TN and the head grade is increased by 8%, thus maintaining the amount of gold fines. The reduction in exploited tons of mineral implies an average monthly reduction in the cost of extraction with a locomotive of 5,982.54 Soles and transportation with a dump truck of 20,392.20 Soles. The average monthly reduction in the cost of mineral exploitation and transportation is 97,753.73 Soles and annually 1,170,584.75 Soles.

Keywords — Mining, explosives, dilution, control, redesign

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	iv
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 del estudio .....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivo Específicos .....	4
1.4 Hipótesis. ....	4
1.4.1 Hipótesis General .....	4
1.4.2 Hipótesis Específica .....	4
1.4.3 Definición de variables. ....	5
1.4.4 Operacionalización de variables .....	5
1.5 Antecedentes investigativos. ....	6
1.5.1 Antecedentes internacionales .....	6
1.5.2 Antecedentes nacionales .....	6
1.5.3 Antecedentes locales .....	8
Capítulo II. Marcos teórico y conceptual .....	10
2.1 Marco teórico.....	10
2.1.1 Métodos de explotación subterránea .....	10
2.1.2 Clasificación geomecánica del macizo rocoso.....	16
2.1.3 Dilución en minería subterránea .....	21
2.2 Marco conceptual .....	25
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....	27
3.1 Tipo y diseño de la investigación .....	27

3.1.1	Enfoque.....	27
3.1.2	Según el alcance.....	27
3.1.3	Según el diseño de investigación. ....	27
3.2	Unidad de análisis. ....	27
3.2.1	Localización.....	27
3.2.2	Geología.....	29
3.2.3	Producción. ....	34
3.3	Matriz de consistencia. ....	36
3.4	Recolección de datos. ....	37
3.4.1	Recolección de datos técnicos de explosivos.....	37
3.4.2	Pruebas de propiedades técnicas de explosivos. ....	40
3.4.3	Pruebas de campo de perforación y voladura en tajos. ....	41
3.4.4	Reporte de medición mensual de tajos.....	51
3.5	Procesamiento de información. ....	57
3.5.1	Metodología de selección de explosivos.....	57
3.5.2	Rediseño de mallas de perforación y voladura. ....	65
3.5.3	Formulación de costos operativos. ....	74
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....		83
4.1	Relación entre la dilución y altura de minado.....	83
4.2	Evolución mensual de parámetros operativos. ....	86
4.3	Evolución económica de la disminución de la dilución.....	94
4.4	Validación de hipótesis.....	101
Conclusiones .....		107
Recomendaciones .....		109
Referencias bibliográficas.....		110
Anexos .....		111

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2: Parámetros para cálculo de RMR .....	18
Tabla 3: Clasificación de macizo rocosos según Bieniawski .....	18
Tabla 4: Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de calidad Q.....	19
Tabla 5: Matriz de consistencia.....	36
Tabla 6: Clasificación de propiedades técnicas de explosivos .....	38
Tabla 7: Explosivos analizados para el proceso de selección .....	38
Tabla 8: Propiedades técnicas de los explosivos .....	39
Tabla 9: Pruebas de campo del Emulnor .....	41
Tabla 10: Pruebas de campo tajo corte y relleno ascendente (TE) .....	43
Tabla 11: Pruebas de campo tajos recuperación puentes y pilares (TR).....	45
Tabla 12: Pruebas de campo tajos cámaras frontón y pilares (TC).....	47
Tabla 13: Pruebas de campo Tajos Long Wall (TL) .....	49
Tabla 14: Evolución mensual de la altura de minado para un muestreo de tajos .....	52
Tabla 15: Evolución mensual por contratas mineras de la altura de minado en tajos.....	53
Tabla 16: Evolución mensual por método de explotación de la altura de minado.....	54
Tabla 17: Evolución mensual de la dilución para un muestreo de tajos .....	55
Tabla 18: Evolución mensual por contratas mineras de la dilución en tajos .....	56
Tabla 19: Evolución mensual por método de explotación de la dilución en tajos.....	56
Tabla 20: Características de la roca, su entorno y el minado .....	58
Tabla 21: Determinación de perfil del explosivo .....	59
Tabla 22: Valoración de propiedades técnicas de los explosivos.....	60
Tabla 23: Valoración de factores de selección de explosivos entorno de roca y minado.	62
Tabla 24: Matriz de decisión para la selección de explosivos .....	64
Tabla 25: Malla de perforación para método TE (Inicial – Modificada) .....	65
Tabla 26: Resultados de voladura para método TE (Inicial – Modificada) .....	66

Tabla 27: Distribución de carga explosiva para método TE (Inicial – Modificada) .....	66
Tabla 28: Malla de perforación para método TR (Inicial – Modificada) .....	68
Tabla 29: Resultados de voladura para método TR (Inicial – Modificada) .....	68
Tabla 30: Distribución de carga explosiva para método TR (Inicial – Modificada) .....	68
Tabla 31: Malla de perforación para método TC (Inicial – Modificada) .....	69
Tabla 32: Resultados de voladura para método TC (Inicial – Modificada) .....	70
Tabla 33: Distribución de carga explosiva para método TC (Inicial – Modificada) .....	70
Tabla 34: Malla de perforación para método TL (Inicial – Modificada) .....	71
Tabla 35: Resultados de voladura para método TL (Inicial – Modificada) .....	72
Tabla 36: Distribución de carga explosiva para método TL (Inicial – Modificada) .....	72
Tabla 37: Evolucion mensual de precios unitarios de tajos - 2021 .....	77
Tabla 38: Evolucion mensual de precios unitarios de tajos - 2022 .....	77
Tabla 39: Evolucion mensual de costos de transporte de mineral - 2021 .....	80
Tabla 40: Evolucion mensual de costos de transporte de mineral - 2022 .....	81
Tabla 41: Evolución de costos de transporte de mineral – resumen .....	82
Tabla 42: Evolución mensual de costos de explotación de mineral – 2021 .....	95
Tabla 43: Evolución mensual de costos de explotación de mineral – 2022 .....	96
Tabla 44: Evolución de costos de explotación de mineral – resumen .....	97
Tabla 45: Evolución mensual de leyes y finos de mineral – 2021 .....	98
Tabla 46: Evolución mensual de leyes y finos de mineral – 2022 .....	99
Tabla 47: Evolución de leyes y finos de mineral – resumen .....	100
Tabla 48: Evolución mensual del porcentaje de dilución .....	101
Tabla 49: Evolución mensual de la altura de minado .....	103
Tabla 50: Evolución mensual del costo de explotación y transporte de mineral .....	105

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Tipos de dilución presentes en un cuerpo mineralizado .....	2
Figura 2: Diferentes situaciones del contorno de un túnel.....	3
Figura 3: Clasificación de los métodos de explotación subterránea .....	12
Figura 4: Vista isométrica Block Primario.....	14
Figura 5: Vista transversal .....	15
Figura 6: Block secundario.....	15
Figura 7: Cara libre .....	15
Figura 8: Elementos de una clasificación geomecánica .....	16
Figura 9: Elementos de una clasificación geomecánica .....	17
Figura 10: Índice geológico de resistencia y generalidades Hoek-Brow .....	20
Figura 11: Dilución en minería subterránea .....	21
Figura 12: Cálculo de la dilución minera .....	21
Figura 13: Tipos de dilución minera .....	23
Figura 14: Límites de dilución primaria y secundaria.....	23
Figura 15: Proceso de control de dilución .....	25
Figura 16: Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A.....	28
Figura 17: Ilustración de la vía de acceso terrestre a Marsa .....	29
Figura 18: Plano de Geología Regional de la zona de influencia de Marsa.....	30
Figura 19: Plano de geología local de la zona de influencia de Marsa .....	32
Figura 20: Isométrico del Sistema Geológico estructural de Marsa.....	33
Figura 21: Fotos de rocas ígneas y sedimentarias de Marsa .....	34
Figura 22: Aplicación de rediseño de ingeniería para minado de tajos.....	42
Figura 23: Malla de perforación y voladura TE.....	67
Figura 24: Malla de perforación y voladura TR.....	69
Figura 25: Malla de perforación y voladura TC.....	71
Figura 26: Malla de perforación y voladura TL .....	73

Figura 27: Precio unitario de tajos con dinamita.....	75
Figura 28: Precio unitario de tajos con emulsión.....	76
Figura 29: Relación entre altura de minado y dilución diaria por método de explotación.	84
Figura 30: Relación entre altura de minado y dilución mensual método de explotación ..	85
Figura 31: Evolución mensual de parámetros operativos para método TE.....	86
Figura 32: Evolución mensual de parámetros operativos para método TR .....	87
Figura 33: Evolución mensual de parámetros operativos para método TC .....	87
Figura 34: Evolución mensual de parámetros operativos para método TL.....	88
Figura 35: Evolución mensual de altura de minado para cada método de explotación....	89
Figura 36: Evolución mensual de dilución para cada método de explotación.....	90
Figura 37: Evolución anual de parámetros operativos por labores .....	91
Figura 38: Evolución mensual de altura de minado por contrata.....	92
Figura 39: Evolución mensual de dilución por contrata .....	93
Figura 40: Prueba de hipótesis para dos medias varianzas desconocidas.....	101

## Introducción

En el capítulo 1, presenta la introducción, la formulación del problema y el objetivo de estudio. Además, se muestra los antecedentes investigativos con relación a los trabajos que aquí nos ocupan. Se plantea las hipótesis y se definen las variables de estudio, finalmente se muestra la tabla de operacionalización de variables.

En el capítulo 2, presenta el marco teórico de bibliografía relacionada al objeto de estudio y un marco conceptual referido a los términos que atribuyen ambigüedad en la investigación.

En el capítulo 3, se aborda el desarrollo metodológico de la investigación, donde la investigación es de tipo mixta, descriptiva y de diseño experimental.

En el capítulo 4, presenta la recolección de dato técnicos de explosivos para ser procesado por medio de una metodología de selección. Para los explosivos elegidos antes de implementar su uso en mina se realizó pruebas de campo que validen sus propiedades fisicoquímicas. A través de un rediseño de mallas de perforación y el uso de los nuevos explosivos en campo, se recolecto data respecto a la perforación y voladura durante el minado y se evaluaron sus resultados por medio de la altura de minado en tajos. Utilizando la Medición mensual de líneas y tajos por parte del área de Ingeniería. Se procedió a procesar la evolución mensual de indicadores operacionales para tajos (Dilución, altura de minado). Se generó precios unitarios por método de minado en tajos y el costo de transporte de mineral. Se presenta el análisis de los criterios utilizados para la selección de explosivos. Se evalúa como el rediseño de perforación y voladura mejora los parámetros operacionales y reduce el costo de explotación y transporte de mineral.

Finalmente se presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

# **Capítulo I. Parte introductoria del trabajo**

## **1.1 Generalidades**

La industria minero-metalúrgica se encuentra en un proceso de constante desarrollo, para lo cual utiliza la investigación e innovación como herramienta para mejorar sus procesos, con el fin de lograr una operación minera con alta productividad que priorice la seguridad y el cuidado del ambiente. La mejora de la productividad permitirá una alta rentabilidad de la operación minera.

El cumplimiento de objetivos planificados en una operación minera depende determinadamente de la gestión de cada uno de sus procesos. Considerando la mejora continua como el procedimiento a seguir con el fin de optimizar los procesos. La operación unitaria de perforación y voladura cumple un rol importante en el proceso minero-metalúrgico porque influye directamente en las siguientes etapas del ciclo de minado como la limpieza, sostenimiento y la recuperación de finos en la planta de tratamiento mineral. Se presenta también la mejora de las condiciones de seguridad para el personal, maquinarias y procesos por desarrollar sus actividades en labores que se ajusten a las condiciones planificadas en el diseño de mina.

En una operación minera con métodos de explotación altamente selectivos como el Corte y relleno ascendente, Recuperación de puentes y pilares, Tajo cámara y Long Wall, es de suma importancia cumplir con los requerimientos de planificación minera respecto a la dilución operativa de diseño, la altura de minado y sobre rotura programada. Estos requerimientos serán controlados utilizando una metodología de selección de explosivos y un rediseño de la malla de perforación y voladura.

## **1.2 Descripción del problema de investigación**

El minado subterráneo es afectado por una serie de problemas, de los cuales la dilución minera es una de las que presenta un mayor impacto. La dilución (ver figura 1), es generada por factores técnicos como selección de explosivos, ancho y altura de minado,

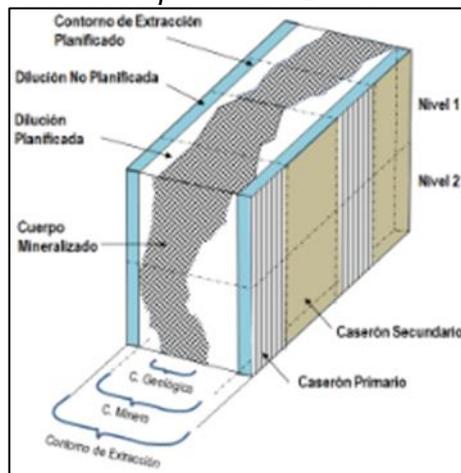
falta de paralelismo en la perforación, contaminación con relleno, pérdida de finos en tajos, pérdida de finos por manipuleo además de factores humanos y factores geológicos.

Los yacimientos mineralizados con presencia de vetas angostas y terrenos con calidad del macizo rocoso de RMR entre 21 a 60 requieren de métodos de explotación selectivos. Donde el incremento de la dilución operativa por encima de la dilución programada disminuirá sustancialmente la productividad del proceso minero-metalúrgico, por el incremento de costos de sostenimiento y costos de traslado de mineral por mayor volumen movido para un mismo aporte de finos. Como resultado de la sobre dilución se origina la disminución de la ley de cabeza la cual implicara un aumento en los costos de tratamiento de mineral y menor recuperación de finos en la planta metalúrgica.

Ante el incremento de material enviado a la relavera o desmontera para su disposición final y mitigación, se producirán potenciales problemas socio ambientales con las comunidades aledañas.

### Figura 1

*Tipos de dilución presentes en un cuerpo mineralizado.*



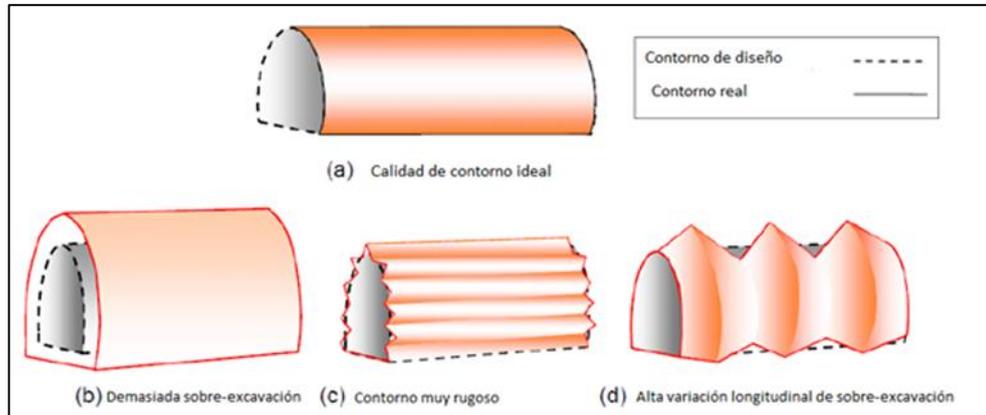
Fuente: E. Córdova (2012). University of Utah, USA.

Un problema recurrente en minería subterránea es la sobre rotura de labores mineras (ver figura 2), producto de un mal diseño de perforación y voladura el cual incide directamente en el proceso minero-metalúrgico. Aumentando los costos de transporte de mineral y desmonte e incrementando el volumen de material enviado a la relavera o

desmontera. Ante una mayor área abierta se aumenta los costos de sostenimiento, requerimientos de relleno de mina y disminuye las condiciones de seguridad.

## Figura 2

*Diferentes situaciones del contorno de un túnel.*



Fuente: A. Herrero (2015). Escuela técnica superior de minas y energía.

El desempeño y costo de los explosivos utilizados para el minado de labores con aporte de mineral, constituye parámetros fundamentales en el planeamiento de mina porque incide directamente en el costo por tonelada de mineral extraído. Un incorrecto diseño de dichos parámetros generaría el problema del incremento de costos operativos.

Producto de la alta profundidad a la cual las minas subterráneas desarrollan sus operaciones, sumado a la generación de un desbalance entre la velocidad de áreas explotadas y rellenadas son las condiciones propicias para la generación del fenómeno de mina conocido como estallido de rocas. La dilución y sobre rotura constituyen elementos que favorecen la generación de mayor área abierta no previstas en el planeamiento de mina con la consiguiente disminución de su estabilidad estructural de diseño. Este problema se constituye como una amenaza al proceso operativo de mina en su conjunto y a las condiciones de seguridad.

En base a las situaciones descritas se formulan las preguntas de investigación:

¿Cuáles son las causas por la cual la dilución operativa está por encima de la dilución programada, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?

¿Cuáles son las causas por la cual la altura de minado operacional está por encima de la altura de minado programado, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?

¿Cuáles son los factores que permiten la disminución del costo de explotación y transporte de mineral, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?

### **1.3 Objetivo del estudio.**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Reducir la dilución de mineral en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea.

#### ***1.3.2 Objetivo Específicos***

- Reducir la altura de minado a niveles de diseño en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea.
- Reducir el costo de explotación y transporte de mineral, para el minado de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea

### **1.4 Hipótesis.**

#### ***1.4.1 Hipótesis General.***

- El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas reduce la dilución de mineral.

#### ***1.4.2 Hipótesis Específica.***

- El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas reduce la altura de minado.
- El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas reduce el costo de explotación y transporte de mineral.

### 1.4.3 Definición de variables.

- **Variable Independiente.**

Diseño de la malla de perforación y voladura

- **Variable Dependiente.**

Dilución de mineral en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas.

Altura de minado en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas.

Costo de explotación y transporte de tajos en vetas angostas auríferas.

### 1.4.4 Operacionalización de variables.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables.*

Clase	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Dependiente	Dilución de mineral en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas.	La dilución es la contaminación del mineral por desmonte o mineral de baja ley que no alcanza la ley de corte durante el proceso de minado.	La dilución se analizará a partir de su relación directa con la altura de minado. La altura de minado será controlada por un diseño de perforación y voladura. Los datos serán recolectados por la medición de tajos mensual y observación directa.	* Dilución mineral (%).  * Altura de minado (m).  * Ley de mineral (gr/Tn).	* Comportamiento de la ley de mineral (gr/Tn).  * Comportamiento de la dilución minera (%).
Independiente	Diseño de la malla de perforación y voladura.	El análisis del uso de explosivos tipo emulsión se basa en el proceso de incorporación de las emulsiones en la malla de perforación y voladura, como explosivo de producción y de contorno.	Se inicia con la selección de explosivos, utilizando catálogos de mercado. Diseño de la malla de perforación y voladura en gabinete y su implementación en campo.	* Densidad de explosivo (g/cm <sup>3</sup> ). * Velocidad de detonación (m/S). * Potencia relativa en peso - RWS (%). * Burden y Espaciamiento (m). * Densidad de carga explosiva (Kg/m). * Caracterización del macizo rocoso (RMR).	* Precio de explotación (S/m <sup>3</sup> ).  * Factor de voladura (Kg/Tn).  * Factor de potencia (Kg/m <sup>3</sup> ).

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## **1.5 Antecedentes investigativos.**

### **1.5.1 Antecedentes internacionales**

José Rivas Oviedo (2018) - Concepción Chile, en la tesis titulada “Control geológico en la dilución mineral”. Uno de los aspectos críticos en la extracción mineral es la dilución mineral, la cual tiene un efecto directo en todo el proceso de producción. Diversos factores pueden generar e influir en ella y determinan el impacto económico de este proceso. La metodología utilizada para caracterizarla fue la validación de la información geológica en las bases de datos, los criterios en la definición de las zonificaciones minerales y en los modelos de bloques, más la implementación de controles geológicos y operacionales. Se utilizaron las conciliaciones como herramienta de control y se realizó un análisis económico para medir su impacto. Los resultados de esta evaluación muestran la importancia de la representatividad y validación de la información geológica del macizo rocoso base de los modelos de bloques y cómo influyen en la dilución planificada; y el control operacional, a través de la identificación y corrección de desviaciones durante este proceso, como herramienta para el control de la dilución operacional. Se determinó lo relevante del control geológico en los procesos de dilución planificada y operacional, y que la estimación de la pérdida económica justificó ampliamente este control, pues es uno de los fenómenos que más afecta a toda la extracción de mineral.

### **1.5.2 Antecedentes nacionales**

Roger Serin Alvites (2017) - Trujillo Perú, en la tesis titulada “Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en la mina Marsa-Retamas”. La compañía minera aurífera Marsa S.A. viene realizando sus operaciones en los yacimientos de la Unidad Minera Parcoy veta Valeria nivel 3125 con una sección de 1.50 x 1.80m. La cual viene siendo ejecutada por la contrata especializada Minera Alfa S.A. en la explotación de tajos. Las características del yacimiento son irregulares, encontrándose zonas inestables, calificándose como roca MF/P (Terreno muy fracturado pobre), generándose sobre rotura y daños en la corona, además de incrementar el porcentaje de dilución. La explotación se realiza en forma convencional, habiéndose

verificado un exceso de consumo de explosivos lo cual se refleja en el indicador conocido como factor de carga. Otras deficiencias en voladura se refieren a una inadecuada columna explosiva del taladro que en vez de 66% se les cargaba a más de 75%, originando sobre excavaciones y aumento en el costo de perforación y voladura. En perforación se detectaron desviaciones en el paralelismo, por ausencia de guidores, ante esta problemática se tenía como consecuencia indicadores desfavorables como por ejemplo: altura de minado, mayor volumen de mineral roto a lo programado para solucionar dichos problemas se diseñó un esquema de investigación que consideraba la remarcación de la potencia de mineralización, optimización de las mallas de perforación y una voladura, considerando los parámetros de la roca y la aplicación de voladura controlada más un sostenimiento adecuado y oportuno para mantener una buena estabilidad del macizo rocoso.

Nilder Cruz Correa (2022) - Piura Perú, en la tesis titulada "Reducción del porcentaje de dilución, mediante el empleo de cápsulas de fragmentación de roca. Mina Consuelo - CIA Minera Poderosa. La libertad". La tecnología reciente aplicada la operatividad minera, viene investigando el uso de nuevos productos que puedan optimizar el rompimiento de roca o que realicen el mismo trabajo de romper la roca al menor costo, tiempo y menos riesgos de lesiones a los trabajadores y al medio ambiente. Uno de estos avances tecnológicos, son las capsulas de fragmentación de roca o Super Cracker, considerado como un producto no explosivo y cuya composición son sales no metálicas, que pueden ser usadas para la fragmentación de la roca en minas subterráneas y obras de construcción. Este producto tiene ventajas para ser utilizado, ya que no necesita permisos de la SUCAMEC, pues no es considerado un explosivo, no necesita de un entrenamiento altamente especializado para su uso, no genera contaminación ambiental ni acústica ya que las vibraciones, ruido y gases son menores, no requiere de un almacenamiento especial para su manipulación y presenta un buen rendimiento en la fragmentación de la roca. La investigación, de hacer una propuesta a la problemática que tiene CIA PODEROSA, en su unidad Mina Consuelo, de reducir el porcentaje de dilución,

debido a varios factores como el uso de un explosivo optimo que controle este factor, vetas angostas y otros; lleva a proponer, a las capsulas de fragmentación de roca como una alternativa a controlar la dilución, mediante el control de las estructuras en las excavaciones y rompimiento que se dan en los avances de explotación de las labores subterráneas. Esta propuesta del uso de capsulas de fragmentación de roca ya ha sido experimentada en las operaciones subterráneas de la Mina Consuelo, alcanzando controles en varios índices de performance KPI, s y en especial en la reducción de la dilución tal como se indica en los resultados de la tesis.

### ***1.5.3 Antecedentes locales***

Segundo Grandez Llanca (2016) - Lima Perú, en la tesis titulada “Control de dilución en vetas angostas: caso mina San Rafael”. Esta tesis presenta las mejoras implementadas para lograr la minimización y control de la dilución en vetas angostas en la mina San Rafael y los resultados obtenidos al llevar a cabo dichas mejoras. Para ello, la tesis se divide fundamentalmente en cinco partes: En la primera parte se presenta una evaluación técnico - económica del actual método de minado y una comparación entre el método de minado Tajeo por Sub-Niveles con taladros largos aplicado a vetas angostas y a cuerpos. En la segunda parte se describen técnicas de predicción de la dilución en vetas angostas desde un enfoque netamente teórico, las cuales pretenden estimar cuantitativamente la dilución planeada para el minado en vetas angostas. Luego se hace un análisis para identificar las principales causas de dilución en el minado en vetas angostas por el método Tajeo por Sub-Niveles con taladros largos en la mina San Rafael; identificándose como la principal causa la sobre rotura por voladura. Una vez identificada la principal causa de dilución en la mina San Rafael, se procedió a implementar el control de calidad en la perforación y la mejora de procesos en la voladura con la aplicación de voladura controlada. Finalmente (quinta parte) se presenta el análisis técnico - económico de los resultados de los nuevos diseños de perforación y voladura implementados con el fin de minimizar y controlar la dilución. Los mejores resultados se obtuvieron al implementar el diseño de perforación y voladura que incluye 2 taladros de alivio por sección.

Oscar Benites Ccanto (2018) - Lima Perú, en la tesis titulada “Mejoras técnico-económicas- ambientales del remplazo de dinamita por emulsiones en la voladura de Arcata”. La Unidad Minera Arcata se ubica en el departamento de Arequipa, y es explotada por el método subterráneo, cuya mineralización es epitermal (plata y oro) y se encuentra en forma de vetas angostas. Con la baja de los precios de los metales y otros factores que afectan la economía del Perú, la Unidad Minera Arcata para reducir los costos por tonelada fragmentada en los tajos, se ha visto en la necesidad de remplazar el sistema de voladura: Carmex-dinamita por el sistema: Fanel-emulsión encartuchada; lográndose el objetivo de una reducción del costo aproximado del 23%. Por otro lado, se debe tener en cuenta que la voladura de vetas angostas no existe un modelo matemático estándar para aplicar y determinar las mallas de perforación y voladura ( $B \times S$ ), dado que estos cuerpos geométricos son irregulares en forma y tamaño; debiéndose mitigar y/o evitar la dilución y sobre todo proteger la roca circundante a la labor minera para minimizar el costo de los sistemas de sostenimiento y dilución.

## Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 *Métodos de explotación subterránea.*

##### **Métodos de explotación**

Los métodos de explotación se definen como una forma geométrica usada para explotar un yacimiento determinado, es el modo de dividir el cuerpo mineralizado en sectores aptos para el laboreo, y la forma en que se efectúa y progresa la explotación.

Luego de haber modelado el cuerpo mineralizado, se realizará un análisis comparativo técnico-económico de la factibilidad de explotar por tajo abierto o por métodos subterráneos.

##### **Principales variables en la selección del método de minado subterráneo**

- **Parámetros primarios**
  - Características físicas y geológicas del cuerpo mineralizado.
  - Condiciones del terreno, de la roca encajonante y el propio mineral.
- **Parámetros que resultan de la selección del método**
  - Costos de operación y costos de inversión.
  - Velocidad de minado.
  - Disponibilidad y costos de la mano de obra.
  - Regulaciones ambientales.

##### **Técnicas de selección de métodos de minado**

Para seleccionar el método de minado subterráneo necesitamos comparar los parámetros primarios y los parámetros que resultan de la selección del método para cruzarlo con los métodos clasificados y determinar cuál método es factible. El mejor método debería ser técnicamente factible y luego ser evaluado económicamente.

Existen las siguientes técnicas:

- Boshkov y Wright (1941)
- Hartman (1987)

- Morrison (1976)
- Laubscher (1981)
- Nicholas (1981)

### **Técnica de selección de métodos de minado por Nicholas**

#### **1er. Paso:**

Clasifica la geometría del mineral y la distribución de leyes de mineral.

#### **2do. Paso:**

Tabla con características de la mecánica de rocas del mineral y la roca encajonante.

Se hace a continuación un ranking numérico, adicionando los valores de cada método de minado. Los valores de las tablas representan la adecuabilidad de una característica dada para cada método de minado. Se han efectuado actualizaciones de estas tablas dándole pesos de importancia a la geometría, la distribución de leyes, roca encajonante, mineral.

Estos pesos pueden ser cambiados de acuerdo con la experiencia del personal y del conocimiento del yacimiento. El peso neto finalmente se multiplica por cada una de las categorías.

### **Clasificación de los métodos de explotación subterráneos**

Debido a que el sostenimiento del terreno es un elemento necesario en este proceso, los sistemas de minado son clasificados sobre esta base.

- **Métodos no requieren sostenimiento.**

Aberturas en las cuales las cargas debido al peso de la columna de roca son soportadas por las paredes y/o pilares de la parte no excavada.

- **Métodos requieren sostenimiento.**

Sostienen al grado tal que la carga sea sostenida por un sistema de soporte.

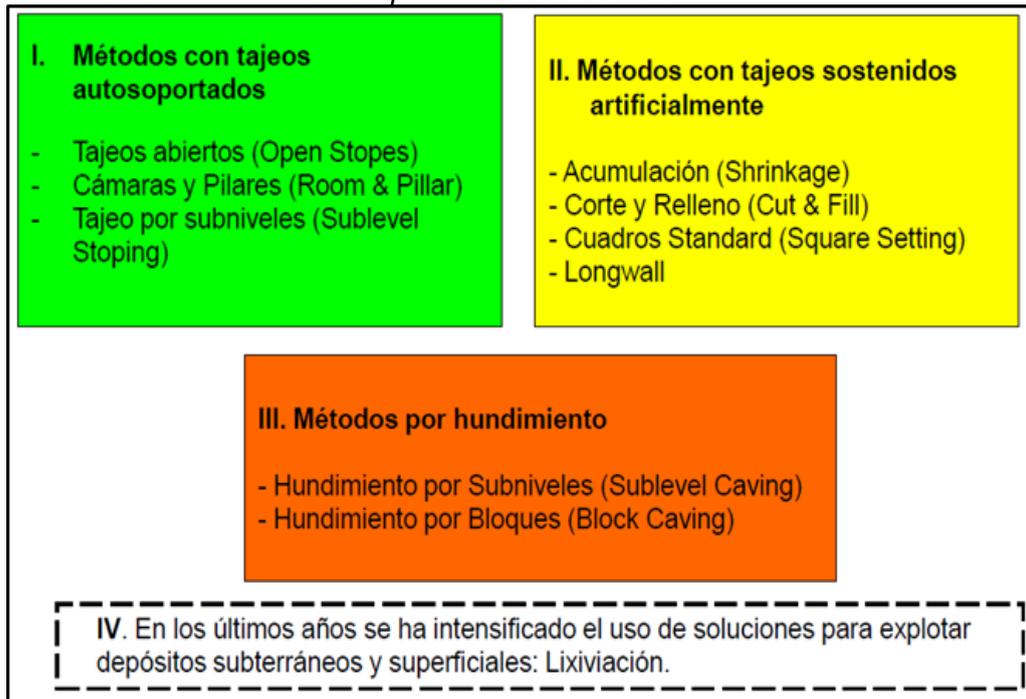
Son los métodos sostenidos artificialmente.

- **Métodos por hundimiento.**

Debido a las propiedades espaciales y mecánicas, el depósito es inducido a derrumbarse bajo la acción de la gravedad para producir mejores resultados que los métodos selectivos.

**Figura 3**

*Clasificación de los métodos de explotación subterránea*



Fuente: F. Grimaldo (2015). Clases métodos de explotación subterránea, UNI.

**Método de explotación por corte y relleno ascendente**

El método de explotación Corte y Relleno Ascendente conocido también como “OverCut and Fill”. Se basa en cortar tajadas horizontales de mineral, comenzando de la parte baja y avanzando hacia arriba. El mineral roto es cargado y extraído completamente del tajo. Cuando toda la tajada ha sido disparada, el volumen extraído es rellenado con un material estéril para el soporte de las cajas, proporcionando una plataforma mientras la próxima rebanada sea minada. El relleno es de tipo detrítico, hidráulico y cementado. El método es utilizado generalmente en vetas angostas de buena ley, las que no pueden ser mecanizadas, o en donde los costos de mecanización son aceptables.

### **Características del método**

La explotación de corte y relleno se utiliza en yacimientos con las siguientes características:

- Fuerte buzamiento, superior a los 50° de inclinación.
- Características físico-mecánicas del mineral y roca caja relativamente mala.
- Potencia moderada.
- Límites regulares del yacimiento.

### **Ventajas**

- La recuperación es cercana al 100%.
- Es altamente selectivo, trabaja secciones de alta ley y deja sin explotar los de baja ley.
- Es un método seguro.
- Puede alcanzar un alto grado de mecanización.
- Se adecua a yacimientos con propiedades físico-mecánicas incompetentes.

### **Desventajas**

- Costos de explotación elevado.
- Bajo rendimiento por la paralización de la producción como consecuencia del relleno.
- Consumo elevado de materiales de fortificación.

### **Diseño e ingeniería**

#### **Labores de desarrollo y preparación**

- Se debe contar con una galería de acceso y vías para el transporte de mineral.
- Se contará con echaderos de mineral espaciados a 40 metros.
- La cámara de winche se construirá en la caja techo o en una estocada al lado del echadero.
- El panel o block de explotación primaria será de 40m por 40m definidos por el sub nivel base de preparación, la chimenea de exploración, la chimenea de desarrollo, y un sub nivel ubicado a 40m del sub nivel base.

- La galería tendrá como sección 2.40m x 2.40m, 2.40m x 2.70m, o 3.00m x 3.00m.
- Los sub niveles tendrán como mínimo una sección de 1.20m de ancho y 1.80m de alto.
- Los paneles o blocks de explotación secundarios serán de 40.0m x 20.0m y serán definidos al dividir un block primario para el avance de un sub nivel intermedio ubicado a 20.0m del sub nivel base.

### Operación

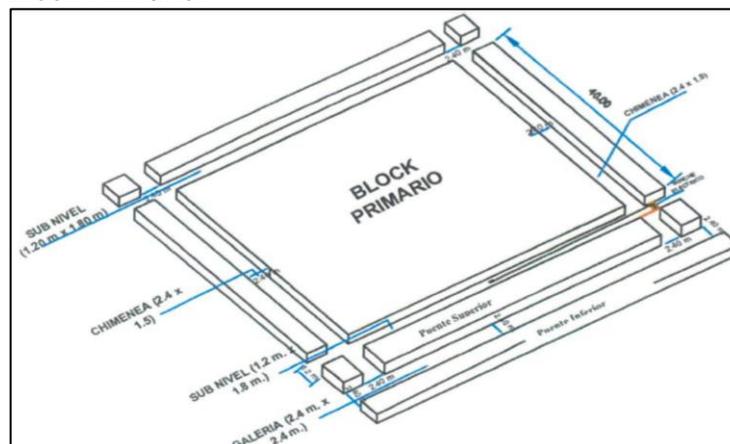
- El avance de la cara libre será en sentido ascendente en dirección del buzamiento de la veta.
- La explotación será con taladros horizontales (breasting) en dirección del rumbo de la veta.
- El equipo de limpieza será winches de 15 HP y rastras.
- Para cambiar de canal de rastrillaje se construirá ventanas cada tres cortes.
- Rellenar cuando los cortes lleguen a la mitad del block o cuando estructuralmente requiera.

### Servicios

- Las válvulas principales de agua y aire deben estar ubicadas en el ingreso de la galería principal de acceso al block.
- Las tuberías de servicios irán al lado opuesto de los cables eléctricos.

**Figura 4**

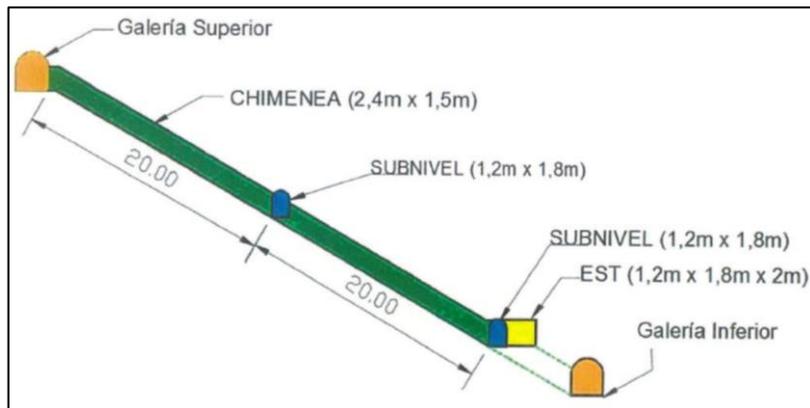
*Vista isométrica Block Primario.*



Fuente: Marsa (2022). Explotación por corte y relleno ascendente convencional.

**Figura 5**

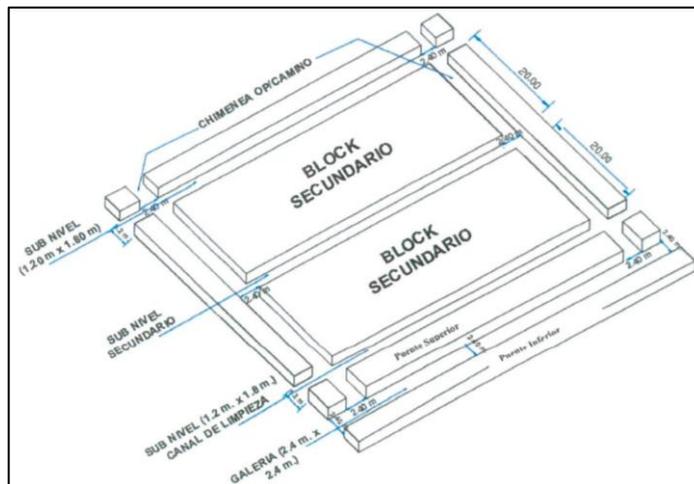
*Vista transversal.*



Fuente: Marsa (2022). Explotación por corte y relleno ascendente convencional.

**Figura 6**

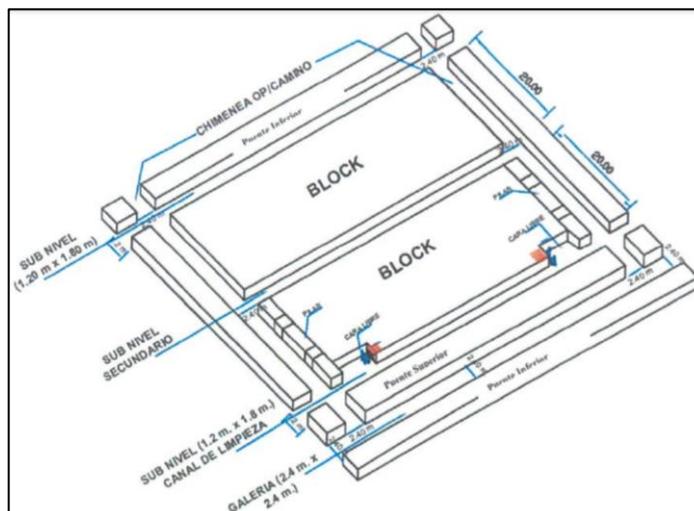
*Block secundario.*



Fuente: Marsa (2022). Explotación por corte y relleno ascendente convencional.

**Figura 7**

*Cara libre.*



Fuente: Marsa (2022). Explotación por corte y relleno ascendente convencional.

### 2.1.2 Clasificación geomecánica del macizo rocoso.

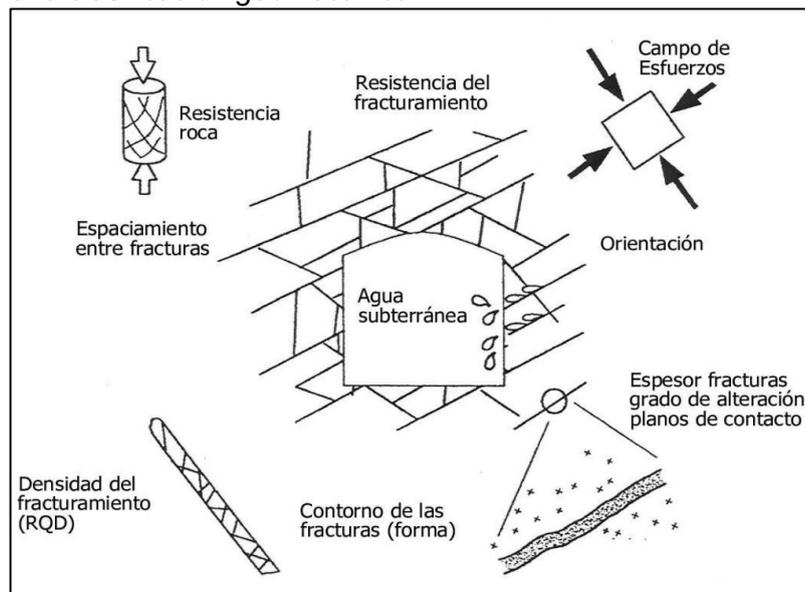
Las clasificaciones geomecánicas surgen buscando establecer, de forma sencilla y planificada, diferentes grados de calidad del macizo rocoso en función de las propiedades de la matriz rocosa y de las discontinuidades. Esta clasificación permite establecer unos índices de calidad del macizo rocoso mediante la observación directa de las características de los macizos rocosos y de la realización de ensayos sencillos; índices que se relacionan con las necesidades de sostenimiento para conseguir la estabilidad de la excavación. Lo señalado se detalla en E-MIN-22 “Estimación del tipo de sostenimiento de acuerdo con la calidad del macizo rocoso”

Algunas de las clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso son:

- Clasificación geomecánica de Terzaghi.
- Clasificación geomecánica de Deere. Índice RQD.
- Clasificación geomecánica de Beniaowski. Índice RMR.
- Clasificación geomecánica de Barton, Lien y Lunde. Índice Q.
- Clasificación geomecánica de Hoek y Brown. Índice GSI.

### Figura 8

*Elementos de una clasificación geomecánica.*



Fuente: J. Suarez (2015). Clasificación de macizos de roca.

### Clasificación geomecánica de Terzaghi (1946).

Realiza una descripción del macizo rocoso por categorías:

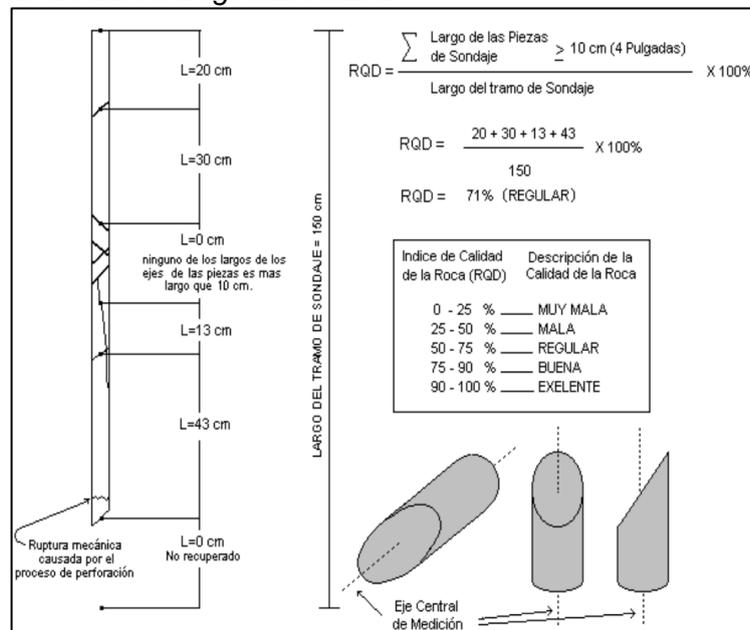
- Roca intacta: Sin diaclasas, rotura por roca intacta, “descascara miento” luego de voladura.
- Estratificada: Estrato con baja resistencia en los límites.
- Moderadamente fisurada: Los “bloques” entre diaclasas inter trabados.
- Triturada: Fragmentos pequeños, tamaño de arena.
- Descompuesta: Porcentaje alto de partículas arcillosas.
- Roca con hinchamiento: Minerales arcillosos con capacidad de hinchamiento.

### Clasificación geomecánica de Deere – RQD (1967).

Se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje), sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud del sondeo.

**Figura 9**

*Elementos de una clasificación geomecánica.*



Fuente: J. Suarez (2015). Clasificación de macizos de roca.

### Clasificación geomecánica de Bieniawski – RMR (1989).

Permite hacer clasificación de las rocas “in situ”, clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos.

El RMR se obtiene estimando los siguientes parámetros:

**Tabla 2**

*Parámetros para cálculo de RMR*

N°	Variable	Factor	Rango
1	Resistencia a compresión simple de material rocoso intacto.	A1	0-15
2	Índice recuperación modificada de testigo o RQD	A1	3-20
3	Espaciamiento entre discontinuidades o fracturas	A1	5-20
4	Estado físico de las discontinuidades	A1	0-30
5	Efectos agua subterránea	A1	0-15
6	Orientación de las discontinuidades	B	(-12)-0

Fuente: Bieniawski, (1989).

Se le asigna un valor numérico a cada factor, de acuerdo con los rangos dados. La suma de los valores encontrados para los seis factores indicara el tipo o clase de macizo rocoso.

$$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B \quad (1)$$

**Tabla 3**

*Clasificación de macizo rocosos según Bieniawski*

Clase Macizo Rcoso	Descripción	RMR
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-20

Fuente: Bieniawski, (1989).

**Clasificación geomecánica de Barton – “Q” (1974).**

El sistema Q fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton et al, integrante todos ellos del Instituto Geotécnico Noruego. Es un sistema de clasificación cuantitativa y, además, es un sistema de ingeniería que facilita el diseño de los soportes de los túneles.

Valora numéricamente entre 0.001 y 1000.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2)$$

Donde:

- RQD: Índice de Deere
- Jn: Índice de diaclasado (número de familias de discontinuidades)
- Jr: Índice de rugosidad de las discontinuidades
- Ja: Índice de alteración de las discontinuidades
- Jw: Factor de reducción por presencia de agua
- SRF: Factor de reducción por tensiones

Para el sistema de clasificación “Q”

- $\frac{RQD}{Jn}$  Representa crudamente el tamaño de los bloques presentes.
- $\frac{Jr}{Ja}$  Representa rugosidad y características de resistencia al corte de las diaclasas.
- $\frac{Jw}{SRF}$  Representa las tensiones activas. Presión de agua y estado tensional para la roca.

No se incluye orientación de discontinuidades.

#### Tabla 4

##### *Clasificación de Barton de los macizos rocosos. Índice de calidad Q*

<b>Tipo de roca</b>	<b>Valor de Q</b>
Excepcionalmente mala.	0.001 - 0.01
Extremadamente mala.	0.01 - 0.1
Muy mala.	0.1 - 1
Mala.	1 - 4
Media.	4 - 10
Buena.	10 - 40
Muy buena.	40 - 100
Extremadamente buena.	100 - 400
Excepcionalmente buena.	400 - 1000

Fuente: Barton, (1974).

#### **Clasificación geomecánica de Hoek y Brown – GSI (1980).**

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condiciones de superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que

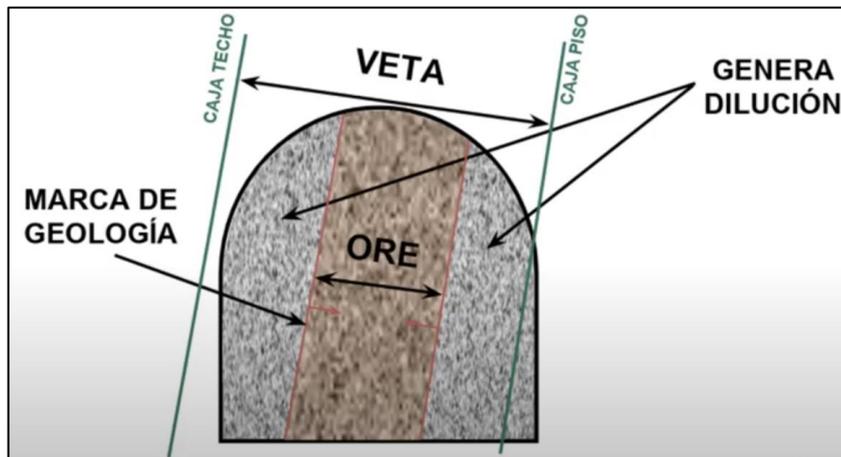


### 2.1.3 Dilución en minería subterránea.

Es el tonelaje de material extraído por debajo de la ley de corte, este tonelaje puede ser desmonte netamente o mineral de muy baja ley que no alcanza la ley de corte. La dilución es un parámetro utilizado en el planeamiento de minado por medio de la dilución planificada, esta se asocia a la ley programada y contempla la dilución permisible o permitida. Cuando la dilución real o de campo está por encima de la dilución permisible estamos frente a una sobre dilución.

**Figura 11**

*Dilución en minería subterránea.*

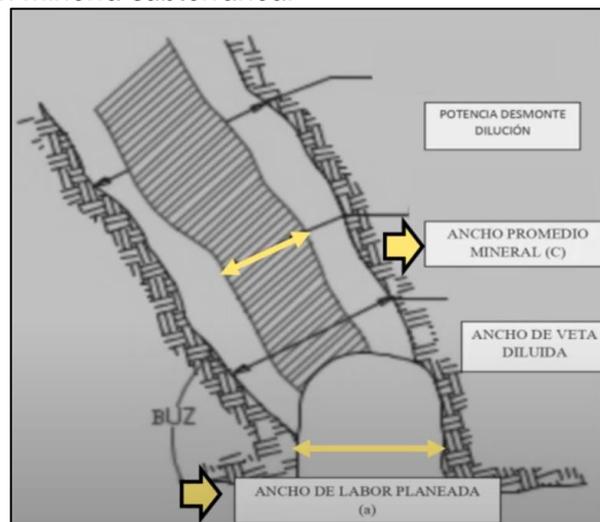


Fuente: Hoschild (2015). Ore control en la Inmaculada.

### Cálculo de la dilución minera

**Figura 12**

*Cálculo de dilución en minería subterránea.*



Fuente: Hoschild (2015). Ore control en la Inmaculada.

Donde:

- a: Ancho promedio de la labor (m)
- c: Ancho promedio de la veta (m)
- g: Ley de mineral (Gr/Tn)

$$Dilución = \left( \frac{a-c}{a} \right) \times 100\% \quad (7)$$

$$Dilución = \left( \frac{a-c}{g} \right) \times 100\% \quad (8)$$

$$Ley diluida = \left( \frac{c}{a} \right) \times g \quad (9)$$

### **Tipos de dilución:**

#### **Clasificación según su geología**

##### **▪ Dilución de producción**

- Contacto irregular entre la veta y la roca caja. -Por la irregularidad entre veta y rocas caja.
- En operaciones con relleno. -Material que se utiliza para el sostenimiento tras la voladura.
- En operaciones con hundimiento. -Roca estéril se desprende del techo diluyendo mineral.
- En yacimientos filonianos. -Son vetas pequeñas que no alcanza el ancho mínimo de trabajo.

##### **▪ Dilución estructural**

- Intercalación de estéril dentro de la formación. -Propio de disposición del depósito mineral.

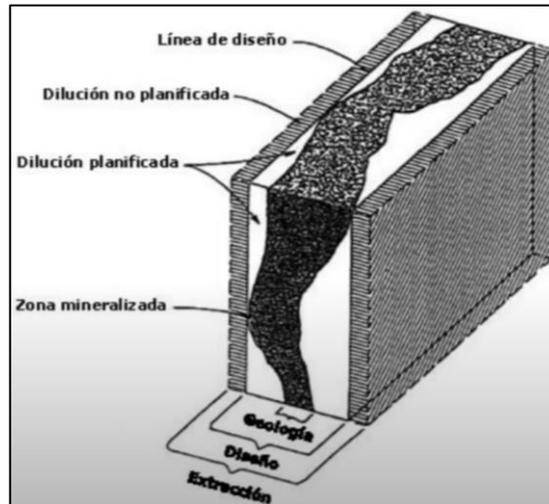
#### **Clasificación según su diseño**

- **Dilución primaria o planificada:** Producto del método de explotación, depende también de la tecnología utilizada. Se incorpora como parte del diseño minero como dilución planificada.

- **Dilución secundaria o no planificada:** Producto de inestabilidad geotécnica causada por voladura o sobre excavación. Se cataloga como una dilución no planificada.

**Figura 13**

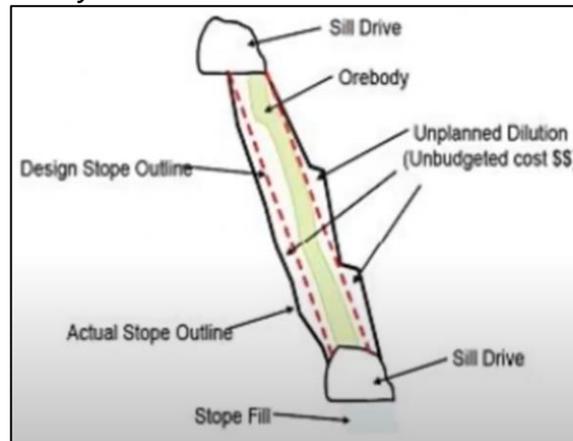
*Tipos de dilución minera.*



Fuente: E. Rubio (2015). Catedra Codelco de tecnología minera.

**Figura 14**

*Límites de dilución primaria y secundaria.*



Fuente: E. Rubio (2015). Catedra Codelco de tecnología minera.

### **Parámetros por tomar en cuenta en la dilución**

- Competencia del macizo rocoso. -Se refiere a la dureza y estabilidad geotécnica de la roca.
- Potencia de la veta. -Su variabilidad dificulta el manejo de la dilución como vetas angostas.

- Selectividad minera. -Se requiere realizar una mejor selección de mineral en el mismo tajo.
- Control de perforación y voladura. -Falta de control provoca anchos de minado excesivos.

### **Factores que generan dilución**

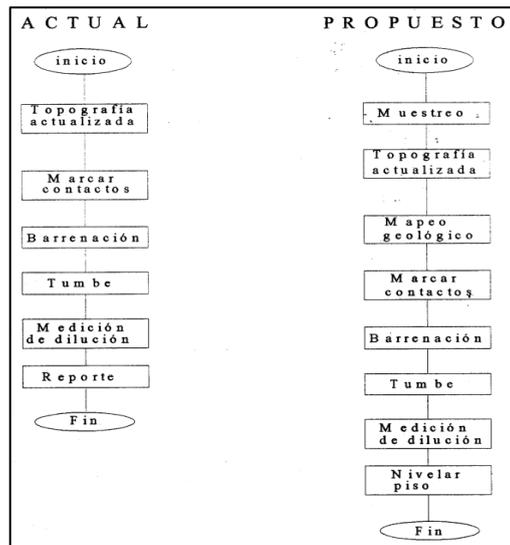
- Métodos de explotación. -Cada método de explotación se asocia a una dilución de diseño.
- Método operativo de minado. -Se incluye el diseño de voladura y el tipo de sostenimiento.
- Performance. -Errores topográficos, limpieza lenta, demora en relleno, taladros desviados.
- Condiciones del terreno. -Roca encajonante de mala calidad, límites irregulares de mineral.
- Confiabilidad del relleno. -Relleno inadecuado provocaran caída de las rocas encajonantes.
- Deficiencia en la capacitación del personal. -Se debe programar la capacitación en la mina.

### **Control de la dilución**

- Procedimiento de muestreo. -Calcula el valor del mineral, zonas de contacto mineralizado.
- Procedimiento de relleno. -Pisos uniformes del relleno y condiciones seguras para trabajo.
- Procedimiento de perforación y control de dilución. -Reduce la dilución de la ley de cabeza.

**Figura 15**

*Proceso de control de dilución.*



Fuente: Minera Bismark (2010). Control de dilución y leyes.

## 2.2 Marco conceptual.

### ▪ Dilución.

La dilución se define como la contaminación del mineral por desmonte durante el proceso de minado.

### ▪ Emulsión.

Es una dispersión del tipo coloidal de una fase combustible en una solución salina; para impedir que se asienten al quedar en reposo, se agregan pequeñas cantidades de agentes emulsificantes.

### ▪ Tajo.

El tajo se considera como la unidad de explotación sobre la cual se desarrolla el trabajo de extracción de mineral en minería.

### ▪ Caja.

La caja son estructuras rocosas que se encuentran a los costados de la veta. Para una veta inclinada se define la caja techo y caja piso como la roca ubicada sobre el lado superior o inferior respectivamente.

- **Ley.**

La ley en minería es una medida que describe el grado de concentración de los recursos naturales valiosos presentes en una mena.

- **Galería.**

La galería es una excavación horizontal, o poco inclinada. Es similar a un túnel de carretera o ferrocarril. Las galerías reciben distintos nombres según su función o su posición respecto a la roca a explotar.

## **Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación**

### **3.1 Tipo y diseño de la investigación.**

#### ***3.1.1 Enfoque.***

El tipo de investigación desde el punto de vista del enfoque es cuantitativo porque de las siete características epistemológicas, cinco corresponden a una investigación del tipo cuantitativa. La percepción de la realidad es objetiva porque está basada en teorías previas, el razonamiento es deductivo ya que contrasta la hipótesis, está orientado a la reducción de la dilución como resultado, el principio de verdad está centrada en similitudes con el uso de otros explosivos y la causalidad depende de antecedentes específicos.

#### ***3.1.2 Según el alcance.***

El tipo de investigación desde el punto de vista del alcance es correlacional porque relaciona el uso de emulsiones con la disminución de la dilución para la explotación de tajos en vetas angostas auríferas con calidad geomecánica del macizo rocoso del tipo deleznales.

#### ***3.1.3 Según el diseño de investigación.***

El diseño de la investigación es experimental porque se realizó un análisis del uso de emulsiones en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas modificando parámetros operativos con el objetivo de reducir la dilución.

### **3.2 Unidad de análisis.**

La presente investigación tiene como unidad de análisis la empresa Miera Aurífera Retamas S.A. Mina aurífera subterránea ubicada políticamente en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, región la Libertad a una altura promedio de 3220 msnm.

#### ***3.2.1 Localización.***

##### **Ubicación.**

El yacimiento mineral “El Gigante” se encuentra situado en el anexo Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, región la Libertad. Geográficamente se encuentra

emplazada en las vertientes del flanco oriental de la cuenca hidrográfica del Marañón, en el sector norte de la cordillera oriental. La altitud oscila entre 3200 a 4260 msnm.

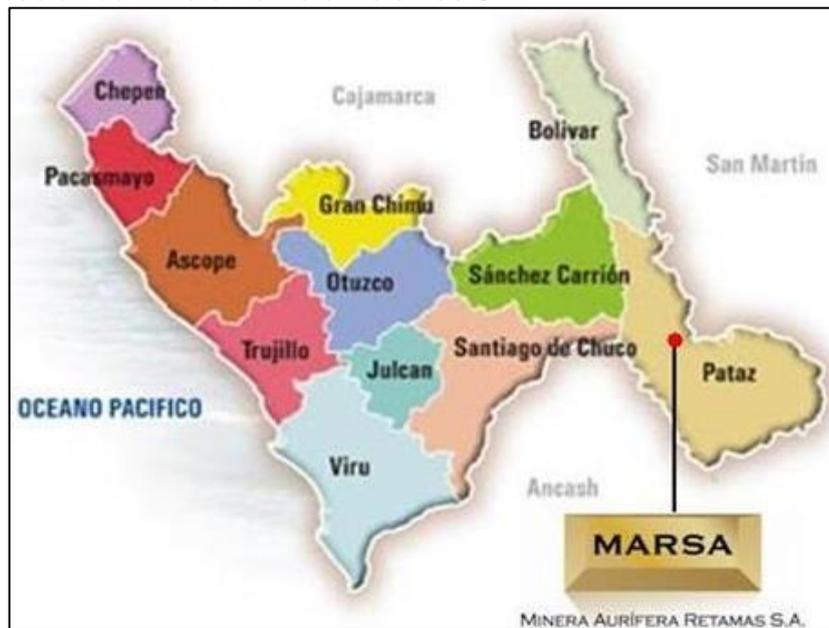
Coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 08° 02' 45''

Longitud Oeste : 77° 20' 56''

## Figura 16

*Plano de ubicación de Minera Aurífera Retamas S.A.*



Fuente: Minera Aurífera Retamas S.A. (1995). Área de planeamiento.

### **Accesibilidad.**

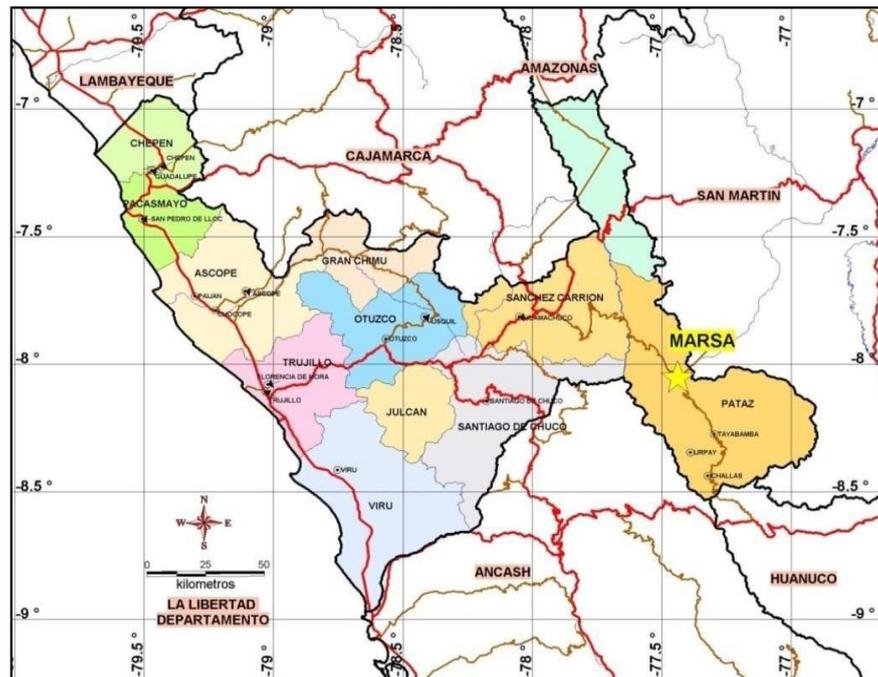
La zona donde desarrolla operaciones Minera Aurífera Retamas S.A. es accesible por vía terrestre o aérea, conforme al siguiente itinerario.

Por vía aérea se accede al aeródromo de Pías desde las ciudades de Lima y Trujillo con un recorrido de 910 Km y 350 Km, el tiempo de vuelo comercial es de 1.2 horas y 0.5 horas respectivamente.

Por vía terrestre se accede al centro poblado de Llacuabamba desde la ciudad de Trujillo con un recorrido de 420 Km, el tiempo de viaje entre vía asfaltada y trocha es de 14 horas.

**Figura 17**

*Ilustración de la vía de acceso terrestre a Marsa.*



Fuente: Minera Aurífera Retamas S.A. (1995). Área de planeamiento.

### **3.2.2 Geología.**

Ubicado en el distrito minero de Parcoy, en el Batolito de Pataz, se encuentra el depósito mineral conocido como “El gigante”, donde Marsa desarrolla sus operaciones. Está emplazado en rocas intrusivas granitoides de la edad Paleozoica. Constituido por filones de cuarzo con concentraciones de sulfuros, la concentración de mineral se presenta en forma de un cuerpo mineralizado (ore shoot) controlado por estructuras del tipo lazo cimoide.

En las exploraciones y desarrollo, la política de Marsa es mantener el nivel de reservas, para lograr este objetivo se desarrolla un agresivo programa mensual de avance lineal de alrededor de 2 mil metros. Las exploraciones son vitales para encontrar y renovar reservas. Este programa junto a los programas de perforación diamantina de largo alcance permite incrementar nuevas áreas de exploración y una reevaluación de las áreas más antiguas.

En los primeros años de Marsa las reservas y producción provenían del sistema Esperanza que es una estructura que presenta rumbo NNW-SSE y buzamiento NE, pero

adicionalmente se tiene identificadas 14 estructuras al piso de Esperanza con el mismo rumbo y buzamiento. Producto de la profundización realizada en los últimos años se han interceptado las vetas Cabana 2, Cabana 3 y Daniela con valores de oro superiores al promedio de ley de las reservas actuales y que pertenecen a este sistema de estructuras paralelas. Adicionalmente se ha interceptado la veta Valeria que es una estructura tensional con valores de oro superiores.

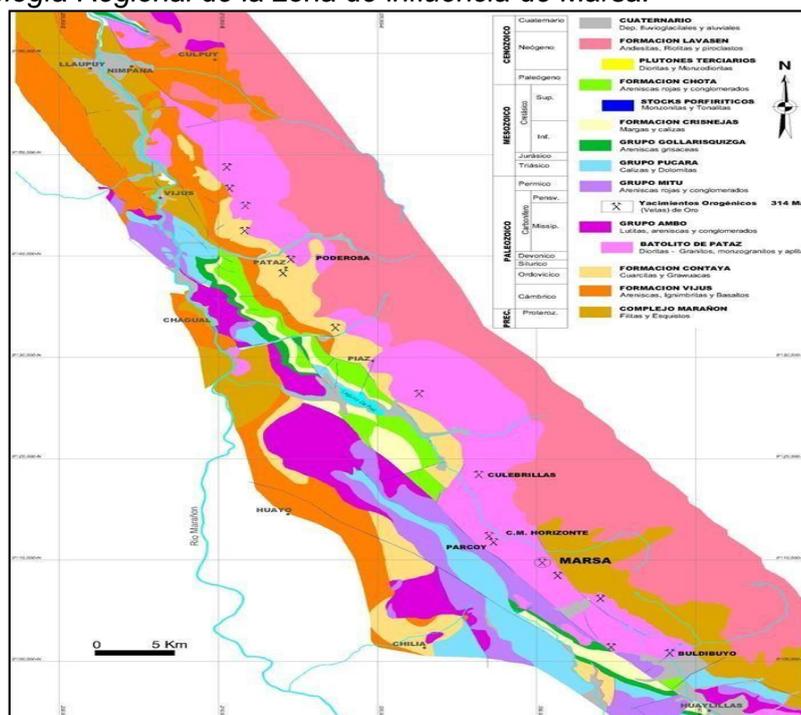
### Geología Regional.

Las características geológicas desarrolladas en la región están ligadas a la evolución estratigráfica y estructural de la cordillera oriental del norte del Perú; afectado por los ciclos del precámbrico, hercínico y andino.

En el Precámbrico se constituye la base estratigráfica con el complejo Marañón, se compone principalmente de esquistos, filitas y secuencias meta volcánicas, esta secuencia supera los 200 metros. En el Paleozoico sobre el complejo se desarrolla el ciclo Hercínico con una secuencia de turbiditas de colores oscuros, reconocido como la Formación Contaya del Ordovícico, se ubica en el borde oeste del Batolito de Pataz.

**Figura 18**

*Plano de Geología Regional de la zona de influencia de Marsa.*



Fuente: Minera Aurífera Retamas S.A. (1995). Área de geología.

### **Estratigrafía.**

La columna estratigráfica del área está constituida en la parte inferior por rocas antiguas de los complejos metamórfico. Sobre esta yacen en discordancia angular sedimentos continentales y marinos pertenecientes al Paleozoico y Mesozoico.

En la parte superior también en discordancia angular se exponen derrames y piroclásticos pertenecientes a los volcánicos Lavasen. Un intrusivo granodiorítico corta las rocas sedimentarias y llega hasta la parte inferior de los volcánicos.

### **Geología Local.**

Comprende unidades litológicas que van desde el precámbrico al cuaternario, desde la más antigua a la más joven, El Complejo Marañón del precámbrico, cámbrico al ordovícico, constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceos, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizados y metas volcánicos; se hallan expuestas en el lado NE del “Batolito de Pataz”, encontrándose plegadas, fallas y/o perturbadas por varios eventos de metamórficos dinámico e ígneo.

El batolito de Pataz del carbonífero con una edad de la intrusión de 329 millones de años y un enfriamiento de 328 a 329 millones de años, tiene aproximadamente 160 Km de largo de norte a sur, un ancho de 2.5 a 5 Km. El intrusivo está constituido probablemente por más de una facie plutónica, una facie de granito – granodiorita y otra facie de tonalita – diorita, mostrándose la primera como la más favorable para emplazamiento y desarrollo de estructuras mineralizadas.

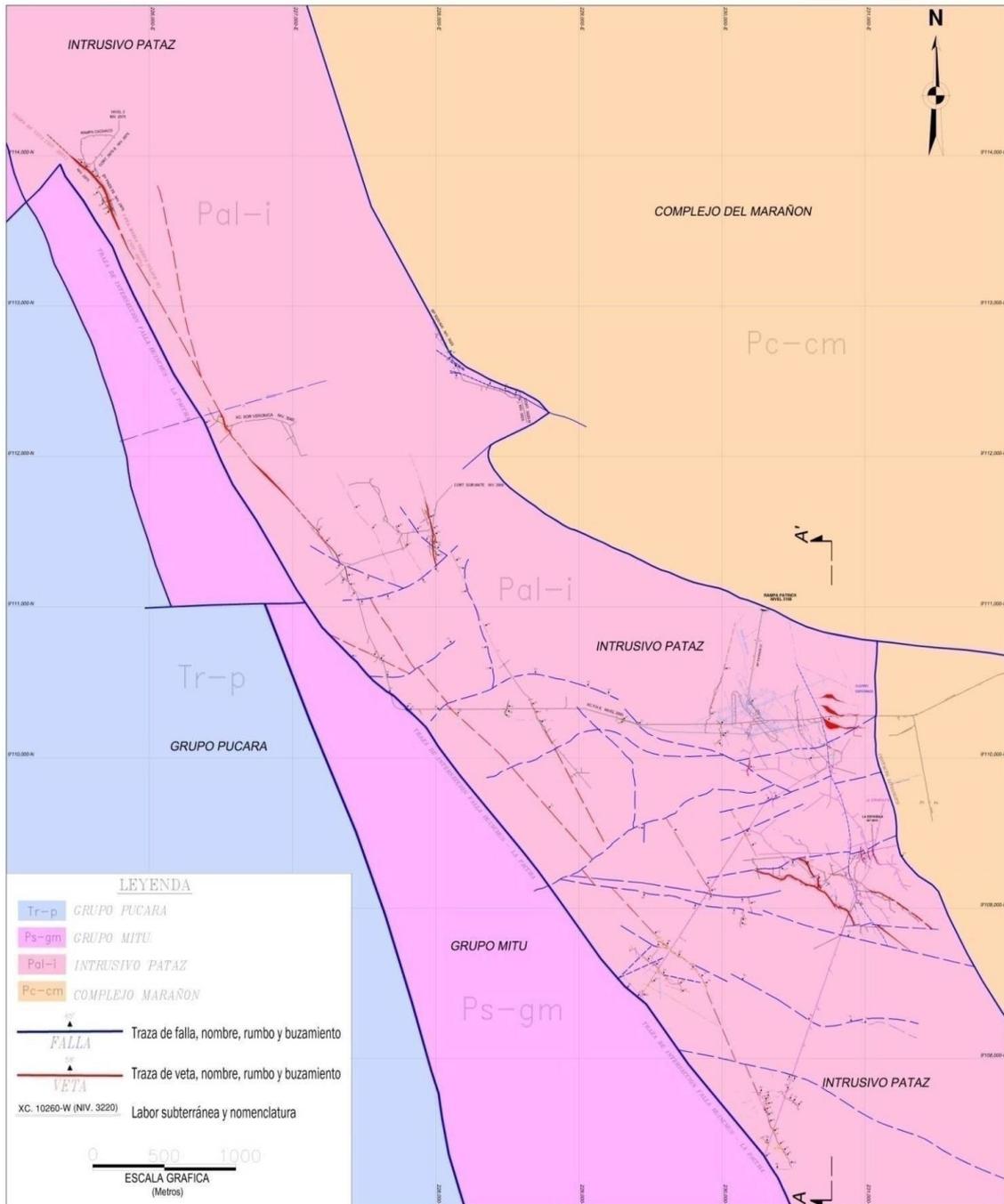
### **Geología Estructural.**

Con los estudios y análisis estructurales realizados se ha logrado determinar la cinemática de las fallas y relación con las fases orogénicas, lo que permitió definir un modelo geométrico estructural del yacimiento y las implicancias en la exploración. Se asocia un arreglo estructural de 3 sistemas.

- Sistema NW – SE, comprende veta Esperanza, Daniela, Cachaco, Yanaracra.
- Sistema N – S y NE – SE, comprende veta Valeria, Cachaco, Sistema tensional.
- Sistema NE – SW, comprende veta BB.

**Figura 19**

*Plano de Geología local de la zona de influencia de Marsa.*



Fuente: Minera Aurífera Retamas S.A. (1995). Área de geología.



hidrotermal. Esta alteración se ha producido cerca de los depósitos y no tiene gran alcance. En las rocas intrusivas, la alteración se evidencia por los minerales característicos, como la sericita, clorita, cuarzo, calcita. En las filitas del complejo Marañón, la alteración se manifiesta por una fuerte silicificación y piritización. Los depósitos minerales presentan alteraciones supérgenas, originándose así las especies secundarias que ocupan la zona de oxidación de las vetas. En ella aparece la limonita, goethita y novelina.

### Figura 21

*Fotos de rocas ígneas y sedimentarias de Marsa.*



Fuente: Minera Aurífera Retamas S.A. (1995). Área de geología.

### 3.2.3 Producción.

La mina produce 1650 TMSD, mineral proveniente de la explotación, preparación y desarrollo. Los principales métodos de explotación son Cámaras y Pilares mecanizados con rendimiento promedio de 8 tn/h-g, Corte y Relleno ascendente y el Long Wall del tipo convencional, en perforación se utilizan perforadoras tipo Jack leg, y para la limpieza de frente winches eléctricos de arrastre en las labores convencionales y scoop en los tajos mecanizados, y para restablecer el macizo rocoso se usa el relleno hidráulico de alta densidad. Para desarrollar las labores de exploración, preparación se utilizan jumbos de electrohidráulicos de un brazo, scoops desde 1.5 yd<sup>3</sup> hasta 4.5 yd<sup>3</sup> de capacidad y palas neumáticas de 10 pies<sup>3</sup>. En todas las labores se emplea los ventiladores auxiliares desde 5000 cfm hasta 18000 cfm para expulsar el aire viciado has los tres circuitos principales de

ventilación que está conformado por cruceros y chimeneas tipo Raise boring de 6' y 8' de diámetro, en los extremos de los circuitos se tienen instalados extractores que suman 420000 cfm.

Marsa profundiza la mina de manera mecanizada construyendo la Rampa Patrick de una sección de 4.0 m por 4.5 m, que tiene un recorrido de 5500 m y se viene ejecutando la profundización de la rampa II etapa, que tendrá una longitud aproximada de 4000 m. En la construcción de la Rampa se utiliza jumbos electrohidráulicos, scoop de 6.0 yd<sup>3</sup>, volquete de 20 m<sup>3</sup> de capacidad, para el desagüe de las aguas subterráneas se emplean bombas de 300 hp de potencia y 50 l/s, se cuenta con una cámara principal de bombeo de agua donde se instaló una bomba de unos 400 Hp y de 150 l/s de capacidad como medida de contingencia.

Se cuenta con una casa fuerza de energía neumática de 16000 cfm, y la red troncal de 22000 m para minimizar las caídas en la presión. El aire es conducido por tuberías metálicas de 16', 12', 10' y 8' de diámetro.

La mina trabaja en dos turnos y en las operaciones de Marsa se presta importancia especial a la seguridad en el trabajo, por ellos los implementos de seguridad que se usan en la mina cumplen con todos los estándares internacionales y su cambio o remplazo obedecen a la frecuencia de uso y el estado del EPP establecido en el estándar de la mina.

### 3.3 Matriz de consistencia.

**Tabla 5**

*Matriz de consistencia.*

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES		INDICADOR	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE		
¿Cuáles son las causas por la cual la dilución operativa está por encima de la dilución programada, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?	Reducir la dilución de mineral en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea.	El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en tajos para vetas angostas auríferas reduce dilución.		Dilución de mineral en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas.	* Porcentaje de dilución (%) * Ley de mineral (Gr/Tn)	* Reporte de operación mina. * Medición mensual de tajos de topografía * Mapeo y muestreo geológico * Observación del ciclo de minado en campo
¿Cuáles son las causas por la cual la altura de minado operacional está por encima de la altura de minado programado, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?	Reducir la altura de minado operacional hasta niveles programados en el diseño de mina en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea.	El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en tajos para vetas angostas auríferas reduce altura de minado.	Diseño de la malla de perforación y voladura	Altura de minado en la explotación de tajos en vetas angostas auríferas.	* Altura de minado (m)	* Reporte de operación mina. * Medición mensual de tajos de topografía * Mapeo y muestreo geológico * Observación del ciclo de minado en campo
¿Cuáles son los factores que permiten la disminución del costo de explotación y transporte de mineral, para el minado subterráneo de tajos en vetas angostas auríferas usando métodos de explotación selectivos?	Reducir el costo de explotación y transporte de mineral, para el minado de tajos en vetas angostas auríferas para minería subterránea.	El diseño de la malla de perforación y voladura que analiza el uso de emulsiones, numero de taladros perforados, potencia de veta, ancho y altura de minado, en tajos para vetas angostas auríferas reduce el costo.		Costo de explotación y transporte de tajos en vetas angostas auríferas.	* Explotación (S/m3) * Transporte (S/Tn)	* Reporte de operación mina. * Medición mensual de tajos de topografía * Servicios de extracción con locomotora * Traslado de mineral con volquete

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **3.4 Recolección de datos.**

El presente proyecto de investigación en la búsqueda de controlar el factor de dilución minera en tajos con vetas angostas se toma como punto de partida la selección de explosivos para los taladros de voladura controlada y producción para lo cual se realiza una recolección de datos de catálogo de las diferentes gammas de explosivos disponibles en el mercado. Habiendo seleccionado los explosivos por datos teóricos estos fueron contrastados por ensayos en el campo para la obtención de datos reales de sus propiedades fisicoquímicas. Luego del rediseño de la malla de perforación y voladura estos son implementados en el laboreo y se recolecto la información de sus resultados. Para un mayor alcancé de los resultados de la aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura se usó los datos de la medición mensual de tajos por parte del área de Ingeniería.

#### ***3.4.1 Recolección de datos técnicos de explosivos.***

Para la selección de explosivos en el carguío de taladros de voladura controlada y producción para el minado de tajos en vetas angostas. Se considera la relación directamente proporcional entre la calidad geomecánica del macizo rocoso y el requerimiento energético del explosivo.

Considerando la coyuntura del incremento del precio de la dinamita y la escasez de los insumos utilizados para su producción. Es necesario buscar explosivos con igual o mayor desempeño por lo que se plantea el uso de emulsiones.

#### **Propiedades técnicas de explosivos.**

Las propiedades técnicas de los explosivos se organizan en fisicoquímicas e índice de energía.

**Tabla 6***Clasificación de propiedades técnicas de explosivos.*

Propiedades técnicas	Unid.	Tipo de propiedades	Nivel energético	
			Alta energía	Baja energía
Densidad relativa	gr/cm3	Fisicoquímicas		
Velocidad detonación	m/s			
Presión detonación	Kbar			
Energía	Kcal/Kg			
Volumen de gases	L/Kg			
Potencia relativa peso - RWS	%	Índice de energía		
Potencia relativa volumen - RBS	%			

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 7***Explosivos analizados para el proceso de selección.*

Tipo	Nombre	Presentación
Dinamita	Famecorte E	Famecorte E20
	Exadit	Exadit 45
		Exadit 65
	Exsablock	Exsablock
Emulsión	Emulnor	Emulnor 500
		Emulnor 1000
		Emulnor 3000
		Emulnor 5000
	Emulex	Emulex 45
		Emulex 65
		Emulex 80
	Emulex 100	

Fuente: Elaboración propia, (2022).

Los explosivos analizados se organizan en una tabla donde se muestran los valores numéricos asociados a sus propiedades técnicas recogidas de datos teóricos de catálogo del fabricante.

**Tabla 8***Propiedades técnicas de los explosivos.*

Explosivos	Densidad	Velocidad		Presión de	Energía	Volumen	RWS	RBS	Resistencia	Categorías de
	relativa	detonación		detonación		de gases				
Unidades	(g/cm <sup>3</sup> )	C	S/C	(Kbar)	(Kcal/Kg)	(L/Kg)	(%)	(%)	al agua	humos
Emulnor 500	0.90	4400	3500	44	628	952	63	75	Excelente	Primera
Emulnor 1000	1.13	5800	4500	95	785	920	85	120	Excelente	Primera
Emulnor 3000	1.14	5700	4400	93	920	880	100	145	Excelente	Primera
Emulnor 5000	1.16	5500	4200	88	1010	870	105	155	Excelente	Primera
Famecorte E20	1.10	4200	3300	48	737.67	909	74	107	Excelente	Primera
Exadit 45	1.02	3400	2900	73	777.72	1017	86	113	Nula	Primera
Exadit 65	1.05	3600	3000	82	799.71	1019	89	115	Nula	Primera
Emulex 45	1.00	4700	4100	55	711.52	930	79	98	Excelente	Primera
Emulex 65	1.12	5700	4500	87	809.03	1004	90	126	Excelente	Primera
Emulex 80	1.14	5600	4400	89	999.04	940	113	157	Excelente	Primera
Emulex 100	1.16	5600	4300	91	1057.60	909	120	180	Excelente	Primera
Exsablock	0.91	2800	2700	23	411.09	771	45	54	Nula	Primera

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **3.4.2 Pruebas de propiedades técnicas de explosivos.**

Luego de realizar un procedimiento de selección de explosivos tomando como criterio principal la relación directa entre el requerimiento energético esperado para la calidad geomecánica de la roca y la valoración numérica de sus propiedades técnicas, este criterio se complementa con otros como presencia de agua, seguridad, suministro, humos y precio. Se concluye recomendar el uso del explosivo Emulnor en sus diversas presentaciones para los taladros de voladura controlada y producción para el minado de tajos en vetas angostas. El explosivo seleccionado se sometió a pruebas de campo en mina para validar sus propiedades de catálogo. Debido a la solicitud de Marsa de realizar pruebas en mina, Famesa decide enviar al personal de control de calidad con el objetivo de verificar las propiedades técnicas del producto Emulnor.

Las pruebas de campo en mina:

- Prueba de Densidad Relativa al EMULNOR según el método de inmersión.
- Prueba de VOD al EMULNOR según la norma NTP 311.371-1.
- Prueba de Sensibilidad al EMULNOR según la NTP 311.371-2.
- Prueba de Hess al EMULNOR según la norma NTP 311.193.
- Prueba de Transmisión de Detonación por Simpatía al producto EMULNOR.

Para realizar las pruebas de campo fue necesario seguir con los procedimientos establecidos por Marsa en concordancia con el procedimiento escrito de trabajo seguro PETS-MIN-67 "Voladura en superficie" en adicional a las normas técnicas peruanas y los estándares ya mencionados.

Las pruebas se realizaron en la zona de "Mush Mush" de minera Marsa los días 11 y 12 de febrero en horarios entre las 14:00 y las 17:00 horas.

Se realizó el respectivo muestreo en almacén de Marsa, siendo la cantidad de pruebas totales:

**Tabla 9***Pruebas de campo del Emulnor.*

Descripción	Unid.	Plano	Cantidad de pruebas			
			Densidad	Simpatía	VOD sensibilidad	Hess
Emulnor 500 1"x24"	Pza.	22045	-	-	2	-
Emulnor 500 1 1/8"x12"	Pza.	22051	-	-	2	-
Emulnor 500 1 1/4"x12"	Pza.	21521	2	1	2	3
Emulnor 1000 1 1/4"x16"	Pza.	21454	2	1	2	3
Emulnor 3000 1 1/8"x16"	Pza.	22025	-	-	2	-
Emulnor 3000 1 1/4"x16"	Pza.	22045	2	1	2	3
Emulnor 5000 1 1/8"x16"	Pza.	22045	-	-	2	-
Emulnor 5000 1 1/4"x16"	Pza.	22045	2	1	2	3

Fuente: Famesa – Departamento de control de calidad (2022).

Se detalla el Informe de control de calidad de Emulsiones por parte de Famesa en el Anexo 1.

### **3.4.3 Pruebas de campo de perforación y voladura en tajos.**

Seleccionado los explosivos siguiendo criterios teóricos y validando sus propiedades técnicas por medio de pruebas de campo, se procede a un rediseño de la malla de perforación y voladura la cual incluye el uso de emulsiones y la aplicación de voladura controlada.

Las pruebas de campo se aplican al minado de tajos con métodos de explotación del tipo TE, TR, TC y TL. Con el fin de identificar el impacto de este cambio se realizaron 2 observaciones antes y 3 después de la aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura.

Donde:

TE (Tajos corte y relleno ascendente)

TR (Tajos recuperación puentes y pilares)

TC (Tajos cámaras frontón y pilares)

TL (Tajos Long Wall)

## Figura 22

*Aplicación de rediseño de ingeniería para minado de tajos.*

		<b>Antes (Dos mediciones)</b>	<b>Después (Tres mediciones)</b>	<b>Indicadores (Total mediciones)</b>
Tajos	TE	Dinamita	Emulsión	Dilución (%)
	TR	Sin voladura controlada	Con voladura controlada	
	TC	Sin control de perforación	Con control de perforación	Altura de minado (m)
	TL	Inicial malla de perforación	Cambio malla de perforación	

Fuente: Elaboración propia, (2022).

El procesamiento de la información de campo se presenta en cuatro tablas una por método de explotación, mostrando indicadores por prueba de factor de potencia, altura de minado y dilución.

**Tabla 10**

*Pruebas de campo Tajo corte y relleno ascendente (TE).*

Método		Tajo corte y relleno ascendente (TE)							
Empresa	Labor	Zona	Nivel	Veta	Sección	Roca	E. Limpieza	E. Perforación	
Mincotral	TJ 571 (CHI 10227 – 15N (SN))	Valeria II	2670	Cachaco 2	4x1	Media	Winche	Jack-Leg	
Parámetros de labor	Unid.	Fechas de aplicación de pruebas de campo					Promedio inicial	Promedio final	
		05/02/2022	06/02/2022	07/02/2022	08/02/2022	09/02/2022			
Guardia	D/N	Día	Día	Día	Día	Día	Δ	Δ	
Rediseño de malla de perforación	No/Si	No	No	Si	Si	Si	Dinamita	Emulsión	
Datos Geológicos									
Ley Veta Au	Gr/Tn	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	2.94	
Potencia Veta	m	0.81	0.80	0.81	0.85	0.83	0.81	0.83	
Angulo Buzamiento	°	27	27	27	27	27	27	27	
Densidad Mineral	Tn/m3	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22	
Calidad del macizo rocoso	Rmr	35	35	35	35	35	35	35	
Datos Topográficos									
Altura de minado programado	m	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	
Altura de minado ejecutado	m	1.50	1.56	1.28	1.25	1.22	1.53	1.25	
Inclinación de tajo	°	27	27	27	27	27	27	27	
Mineral									
Área de minado	m2	2.60	2.50	2.82	2.80	2.78	2.55	2.80	
Altura de minado ejecutado	m	1.50	1.56	1.28	1.25	1.22	1.53	1.25	
Volumen mineral roto	m3	7.22	7.22	6.68	6.48	6.27	7.22	6.48	
Volumen desmonte	m3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Volumen minado	m3	7.22	7.22	6.68	6.48	6.27	7.22	6.48	
Producción									
Tonelada extraída a planta	Tn	12.56	12.56	11.62	11.27	10.92	12.56	11.27	
Ley diluida de Au	Gr/Tn	1.59	1.51	1.86	2.00	2	1.55	1.95	
Dilución	%	46.00 %	48.72 %	36.72 %	32.00 %	31.97 %	47.36	33.56 %	
Perforación y voladura									
Perforación									
Longitud de perforación	m	1.30	1.25	1.41	1.40	1.39	1.28	1.40	

Taladros cargados	Unid.	14	15	11	10	11	14.50	10.67
Taladros rimados	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Taladros alivio	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Diámetro de broca	mm	38	38	38	38	38	38.00	38.00
Diámetro de rimado	mm	0	0	0	0	0	0.00	0.00
<b>Voladura</b>								
Carmex de 6" (1.80m) (Caja x 350)	Pza	14	15	11	10	11	14.50	10.67
Mecha rápida D'ignicion Z-18 V	m	6	6	6	6	6	6.00	6.00
Dinamita exadit al 45% de 7/8"x7"	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Dinamita semexa al 65% de 7/8"x7"	Car	70	75	0	0	0	72.50	0.00
Emulnor 1000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	4	4	4	0.00	4.00
Emulnor 3000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Emulnor 500 1x24 (96 Cartuchos)	Car	0	0	18	16	18	0.00	17.33
<b>Indicadores</b>								
Factor de potencia	Kg/Tn	0.45	0.48	0.35	0.33	0.37	0.47	0.35
Altura de minado	%	25.00 %	30.00 %	6.67 %	4.17 %	1.67 %	27.20%	4.17 %
Dilución	%	46.00 %	48.72 %	36.72 %	32.00 %	31.97 %	47.36 %	33.56 %

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 11**

*Pruebas de campo Tajos recuperación puentes y pilares (TR).*

<b>Método</b>		<b>Tajo recuperación puente y pilares (TR)</b>							
Empresa	Labor	Zona	Nivel	Veta	Sección	Roca	E. Limpieza	E. Perforación	
Mincotrail	TJ 571 (CHI 10227 – 15N (SN))	Valeria II	2670	Cachaco 2	4x1	Media	Winche	Jack-Leg	
Parámetros de labor	Unid.	Fechas de aplicación de pruebas de campo					Promedio inicial	Promedio final	
		12/02/2022	13/02/2022	14/02/2022	15/02/2022	16/02/2022			
Guardia	D/N	Día	Día	Día	Día	Día	Δ	Δ	
Rediseño de malla de perforación	No/Si	No	No	Si	Si	Si	Dinamita	Emulsión	
<b>Datos Geológicos</b>									
Ley Veta Au	Gr/Tn	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28	13.28	
Potencia Veta	m	0.90	0.88	0.90	0.92	0.91	0.89	0.91	
Angulo Buzamiento	°	25	25	25	25	25	25	25	
Densidad Mineral	Tn/m3	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	3.08	
Calidad del macizo rocoso	Rmr	38	38	38	38	38	38	38	
<b>Datos Topográficos</b>									
Altura de minado programado	m	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	
Altura de minado ejecutado	m	1.65	1.63	1.45	1.42	1.43	1.64	1.43	
Inclinación de tajo	°	25	25	25	25	25	25	25	
<b>Mineral</b>									
Área de minado	m2	2.12	2.07	2.34	2.30	2.36	2.10	2.33	
Altura de minado ejecutado	m	1.65	1.63	1.45	1.42	1.43	1.64	1.43	
Volumen mineral roto	m3	6.48	6.24	6.28	6.05	6.24	6.36	6.19	
Volumen desmonte	m3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Volumen minado	m3	6.48	6.24	6.28	6.05	6.24	6.36	6.19	
<b>Producción</b>									
Tonelada extraída a planta	Tn	10.79	10.39	10.45	10.08	10.39	10.59	10.30	
Ley diluida de Au	Gr/Tn	7.24	7.17	8.24	8.60	8.45	7.21	8.43	
Dilución	%	45.45 %	46.01 %	37.93 %	35.21 %	36.36 %	45.73 %	36.50 %	
<b>Perforación y voladura</b>									
Perforación									
Longitud de perforación	m	1.18	1.15	1.30	1.28	1.31	1.17	1.30	

Taladros cargados	Unid.	6	7	5	4	5	6.50	4.67
Taladros rimados	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Taladros alivio	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Diámetro de broca	mm	38	38	38	38	38	38.00	38.00
Diámetro de rimado	mm	0	0	0	0	0	0.00	0.00
<b>Voladura</b>								
Carmex de 6" (1.80m) (Caja x 350)	Pza	6	7	5	4	5	6.50	4.67
Mecha rápida D'Ignicion Z-18 V	m	6	6	6	6	6	6.00	6.00
Dinamita exadit al 45% de 7/8"x7"	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Dinamita semexa al 65% de 7/8"x7"	Car	24	28	0	0	0	26.00	0.00
Emulnor 1000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	4	4	4	0.00	4.00
Emulnor 3000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Emulnor 500 1x24 (96 Cartuchos)	Car	0	0	6	4	6	0.00	5.33
<b>Indicadores</b>								
Factor de potencia	Kg/Tn	0.18	0.22	0.20	0.18	0.20	0.20	0.19
Altura de minado	%	22.22 %	20.74	7.41	5.19 %	5.93 %	21.48 %	6.17 %
Dilución	%	45.45 %	46.01 %	37.93 %	35.21 %	36.36 %	45.73 %	36.50 %

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 12**

*Pruebas de campo Tajos cámaras frontón y pilares (TC).*

<b>Método</b>		<b>Tajo cámaras frontón y pilares (TC)</b>							
Empresa	Labor	Zona	Nivel	Veta	Sección	Roca	E. Limpieza	E. Perforación	
Mincotrail	TJ 571 (CHI 10227 – 15N (SN))	Valeria II	2670	Cachaco 2	4x1	Media	Winche	Jack-Leg	
<b>Parámetros de labor</b>	<b>Unid.</b>	<b>Fechas de aplicación de pruebas de campo</b>					<b>Promedio inicial</b>	<b>Promedio final</b>	
		<b>19/02/2022</b>	<b>20/02/2022</b>	<b>21/02/2022</b>	<b>22/02/2022</b>	<b>23/02/2022</b>			
Guardia	D/N	Día	Día	Día	Día	Día	Δ	Δ	
Rediseño de malla de perforación	No/Si	No	No	Si	Si	Si	Dinamita	Emulsión	
<b>Datos Geológicos</b>									
Ley Veta Au	Gr/Tn	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	11.20	
Potencia Veta	m	0.52	0.54	0.52	0.57	0.56	0.53	0.55	
Angulo Buzamiento	°	32	32	32	32	32	32	32	
Densidad Mineral	Tn/m3	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	
Calidad del macizo rocoso	Rmr	35	35	35	35	35	35	35	
<b>Datos Topográficos</b>									
Altura de minado programado	m	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	
Altura de minado ejecutado	m	1.65	1.60	1.44	1.43	1.45	1.63	1.44	
Inclinación de tajo	°	32	32	32	32	32	32	32	
<b>Mineral</b>									
Área de minado	m2	2.60	2.54	2.76	2.80	2.78	2.57	2.78	
Altura de minado ejecutado	m	1.65	1.60	1.44	1.43	1.45	1.63	1.44	
Volumen mineral roto	m3	7.94	7.52	7.35	7.41	7.46	7.73	7.41	
Volumen desmonte	m3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Volumen minado	m3	7.94	7.52	7.35	7.41	7.46	7.73	7.41	
<b>Producción</b>									
Tonelada extraída a planta	Tn	13.04	12.35	12.08	12.17	12.25	12.70	12.17	
Ley diluida de Au	Gr/Tn	3.53	3.78	4.04	4.46	4.33	3.65	4.28	
Dilución	%	68.48 %	66.25 %	63.89 %	60.14 %	61.38 %	67.37 %	61.08 %	
<b>Perforación y voladura</b>									
<b>Perforación</b>									
Longitud de perforación	m	1.30	1.27	1.38	1.40	1.39	1.29	1.39	

Taladros cargados	Unid.	19	20	14	13	13	19.50	13.33
Taladros rimados	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Taladros alivio	Unid.	3	3	3	3	0	3.00	3.00
Diámetro de broca	mm	38	38	38	38	38	38.00	38.00
Diámetro de rimado	mm	0	0	0	0	0	0.00	0.00
<b>Voladura</b>								
Carmex de 6" (1.80m) (Caja x 350)	Pza	19	20	13	13	13	19.50	13.33
Mecha rápida D'Ignicion Z-18 V	m	6	6	6	6	6	6.00	6.00
Dinamita exadit al 45% de 7/8"x7"	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Dinamita semexa al 65% de 7/8"x7"	Car	95	100	0	0	0	97.50	0.00
Emulnor 1000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	18	18	18	0.00	18.67
Emulnor 3000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Emulnor 500 1x24 (96 Cartuchos)	Car	0	0	8	8	8	0.00	8.00
<b>Indicadores</b>								
Factor de potencia	Kg/Tn	0.59	0.66	0.58	0.53	0.52	0.62	0.54
Altura de minado	%	17.86 %	14.29 %	2.86 %	2.14 %	3.57 %	16.07 %	2.86 %
Dilución	%	68.48 %	66.25 %	63.89 %	60.14 %	61.38 %	67.37 %	61.80 %

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 13**

*Pruebas de campo Tajos Long Wall (TL).*

<b>Método</b>		<b>Tajo long wall (TL)</b>						
Empresa	Labor	Zona	Nivel	Veta	Sección	Roca	E. Limpieza	E. Perforación
Mincotrail	TJ 571 (CHI 10227 – 15N (SN))	Valeria II	2670	Cachaco 2	4x1	Media	Winche	Jack-Leg
<b>Parámetros de labor</b>	<b>Unid.</b>	<b>Fechas de aplicación de pruebas de campo</b>					<b>Promedio inicial</b>	<b>Promedio final</b>
		<b>26/02/2022</b>	<b>27/02/2022</b>	<b>28/02/2022</b>	<b>01/03/2022</b>	<b>02/03/2022</b>		
Guardia	D/N	Día	Día	Día	Día	Día	Δ	Δ
Rediseño de malla de perforación	No/Si	No	No	Si	Si	Si	Dinamita	Emulsión
<b>Datos Geológicos</b>								
Ley Veta Au	Gr/Tn	30.28	30.28	30.28	30.28	30.28	30.28	30.28
Potencia Veta	m	0.87	0.85	0.87	0.90	0.89	0.86	0.89
Angulo Buzamiento	°	25	25	25	25	25	25	25
Densidad Mineral	Tn/m3	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
Calidad del macizo rocoso	Rmr	37	37	37	37	37	37	37
<b>Datos Topográficos</b>								
Altura de minado programado	m	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Altura de minado ejecutado	m	1.45	1.42	1.28	1.25	1.26	1.44	1.26
Inclinación de tajo	°	25	25	25	25	25	25	25
<b>Mineral</b>								
Área de minado	m2	2.60	2.62	2.82	2.80	2.84	2.61	2.82
Altura de minado ejecutado	m	1.45	1.42	1.28	1.25	1.26	1.44	1.26
Volumen mineral roto	m3	6.97	6.88	6.68	6.48	6.62	6.93	6.59
Volumen desmonte	m3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volumen minado	m3	6.97	6.88	6.68	6.48	6.62	6.93	6.59
<b>Producción</b>								
Tonelada extraída a planta	Tn	11.84	11.68	11.33	10.99	11.24	11.76	11.19
Ley diluida de Au	Gr/Tn	18.17	18.13	20.58	21.80	21.39	18.15	21.26
Dilución	%	40.00 %	40.14 %	32.03 %	28.00 %	29.37 %	40.07 %	29.80 %
<b>Perforación y voladura</b>								
<b>Perforación</b>								
Longitud de perforación	m	1.30	1.31	1.41	1.40	1.42	1.31	1.41

Taladros cargados	Unid.	11	12	9	8	7	11.50	8.00
Taladros rimados	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Taladros alivio	Unid.	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Diámetro de broca	mm	38	38	38	38	38	38.00	38.00
Diámetro de rimado	mm	0	0	0	0	0	0.00	0.00
<b>Voladura</b>								
Carmex de 6" (1.80m) (Caja x 350)	Pza	11	12	9	8	7	11.50	8.00
Mecha rápida D'Ignicion Z-18 V	m	6	6	6	6	6	6.00	6.00
Dinamita exadit al 45% de 7/8"x7"	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Dinamita semexa al 65% de 7/8"x7"	Car	55	60	0	0	0	57.50	0.00
Emulnor 1000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	8	8	6	0.00	7.33
Emulnor 3000 11/8x16 (Caja de 25)	Car	0	0	0	0	0	0.00	0.00
Emulnor 500 1x24 (96 Cartuchos)	Car	0	0	10	8	8	0.00	8.67
<b>Indicadores</b>								
Factor de potencia	Kg/Tn	0.38	0.42	0.34	0.32	0.27	0.40	0.31
Altura de minado	%	20.83 %	18.33 %	6.67 %	4.17 %	5.00 %	19.58 %	5.28 %
Dilución	%	40.00 %	40.14 %	32.03 %	28.00 %	29.37 %	40.07 %	29.80 %

Fuente: Elaboración propia, (2022).

#### **3.4.4 Reporte de medición mensual de tajos.**

Para analizar el impacto de la aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura en el control de la altura de minado y disminución de la dilución, se usó la medición mensual de lineales y tajos del área de ingeniería, tomando valores promedio por mes de la altura de minado y dilución de tajos para los meses comprendidos entre julio 2021 a junio 2022. Se precisa como fecha inicial de la aplicación del rediseño de la malla de perforación y voladura el mes de enero 2022. De la medición mensual de lineales y tajos del área de ingeniería se usaron 2 reportes el “Reporte de producción de tajos mensual” y la “Consistencia de medición mensual de tajos”. Se elaboran tablas donde se muestra la evolución mensual de la altura de minado y dilución, organizando la información para un muestreo de tajos, empresa contratista minera y métodos de explotación.

##### **Altura de minado**

Para la evolución de la altura de minado se usó la “Consistencia de medición mensual de tajos”.

**Tabla 14**

*Evolución mensual de la altura de minado para un muestreo de tajos.*

Empresa	Tipo	Código	Labor	2021						Promedio	2022					Prom edio
				Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Alfa	TE	038169	TJ 66 (S/N 3136-N (EST))	-	-	1.19	-	1.16	-	1.18	-	-	-	1.11	1.06	1.09
Alfa	TL	036130	TJ 165 (S/N3143-N (CHI))	1.36	1.390	1.32	1.35	-	-	1.36	1.25	1.23	1.26	-	-	1.25
Alfa	TC	038183	TJ 463 (S/N 3195-S (2S))	-	-	-	1.39	1.33	-	1.36	1.30	1.25	1.28	1.25	-	1.27
Alfa	TR	028182	TJ 105-A (S/N 3105-S (CHI))	-	-	1.40	1.39	1.36	1.53	1.42	1.20	1.47	1.14	-	-	1.27
Comiluz	TE	017852	TJ 253 (CHI 10382-3S(GAL))	1.60	-	1.79	1.48	-	1.65	1.63	1.64	-	1.58	1.32	-	1.51
Comiluz	TL	037968	TJ 28 (CHI 9201-1N (S/N))	-	-	1.24	1.09	1.17	1.12	1.16	-	-	1.14	1.13	1.11	1.13
Comiluz	TC	037529	TJ 30 (S/N 3013-N (CHI))	-	-	1.61	1.25	1.33	-	1.40	1.35	1.30	1.35	-	-	1.33
Comiluz	TR	012787	TJ 458-VALERIA H	-	1.77	-	1.27	-	-	1.52	1.37	1.37	1.37	-	-	1.37
Mincotrall	TE	037695	TJ 1070 (S/N 2527-N(CHI))	-	-	1.80	1.78	1.58	1.35	1.63	1.29	1.57	1.36	-	-	1.41
Mincotrall	TL	038694	TJ 571 (CHI 10227-15N(SN))	-	-	-	-	-	1.47	1.47	1.13	-	-	-	-	1.13
Mincotrall	TC	033072	TJ 854 (CHI 10602-0(S/N))	-	-	-	1.34	-	-	1.34	-	1.30	1.25	-	-	1.28
Mincotrall	TR	033072	TJ 854 (CHI 10602-0(S/N))	-	1.66	2.35	1.71	1.39	1.41	1.70	1.49	1.45	-	-	-	1.47
Mitasa	TE	037937	TJ 248 (CHI 2308-11S (S/))	-	-	1.58	1.50	1.41	-	1.50	1.26	1.27	1.26	1.24	-	1.26
Mitasa	TL	038805	TJ 400 (CHI 10070-2BS (G))	-	-	-	-	-	1.44	1.44	1.16	-	1.17	-	-	1.17
Mitasa	TC	037937	TJ 248 (CHI 2308-11S (S/))	-	-	-	-	-	1.74	1.74	-	1.40	1.38	-	1.37	1.38
Mitasa	TR	038682	TJ 1257 (GAL 10138-S(RP))	-	1.38	1.30	1.35	1.35	1.37	1.35	-	1.34	0.90	1.29	-	1.18

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 15***Evolución mensual por contratistas mineras de la altura de minado en tajos.*

Empresa	Promedio	Promedio	Promedio	2021						Promedio	2022					Promedio
	2018	2019	2020	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Alfa	1.50	1.56	1.40	1.39	1.40	1.50	1.42	1.35	1.35	1.40	1.28	1.28	1.28	1.27	1.23	1.27
Cancer	1.58	1.44	1.48	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00
Comiluz	1.35	1.41	1.33	1.46	1.39	1.34	1.29	1.31	1.21	1.33	1.25	1.24	1.15	1.24	1.22	1.22
Mincotrall	1.59	1.57	1.45	1.41	1.43	1.50	1.49	1.41	1.40	1.44	1.32	1.25	1.38	1.31	1.16	1.28
Mitasa	1.85	1.78	1.87	1.56	1.69	1.87	1.63	1.45	1.52	1.62	1.42	1.47	1.22	1.43	1.53	1.41
<b>Total Tajos</b>	<b>1.54</b>	<b>1.54</b>	<b>1.46</b>	<b>1.46</b>	<b>1.48</b>	<b>1.55</b>	<b>1.46</b>	<b>1.38</b>	<b>1.37</b>	<b>1.45</b>	<b>1.32</b>	<b>1.31</b>	<b>1.26</b>	<b>1.31</b>	<b>1.29</b>	<b>1.30</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 16***Evolución mensual por método de explotación de la altura de minado.*

Empresa	Promedio	Promedio	Promedio	2021						Promedio	2022					Promedio
	2018	2019	2020	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Desquinche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.42	0.37	0.54	0.00	0.00
TE	1.49	1.53	1.46	1.40	1.42	1.45	1.44	1.37	1.34	1.40	1.31	1.29	1.23	1.24	1.22	1.26
TL	1.58	1.51	1.31	1.44	1.31	1.33	1.30	1.29	1.20	1.31	1.16	1.26	1.19	1.25	1.23	1.22
TC	1.63	1.57	1.56	1.39	1.49	1.54	1.32	1.32	1.34	1.40	1.35	1.25	1.27	1.29	1.28	1.29
TR	1.61	1.70	1.54	1.56	1.45	1.62	1.64	1.39	1.40	1.51	1.37	1.36	1.30	1.34	1.30	1.33
Circado	1.48	1.38	1.60	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00
<b>Total Tajos</b>	<b>1.54</b>	<b>1.54</b>	<b>1.46</b>	<b>1.45</b>	<b>1.42</b>	<b>1.49</b>	<b>1.43</b>	<b>1.34</b>	<b>1.32</b>	<b>1.41</b>	<b>1.30</b>	<b>1.12</b>	<b>1.07</b>	<b>1.13</b>	<b>1.26</b>	<b>1.27</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## Dilución

Para la evolución de la dilución se usó el “Reporte de producción de tajos mensual”.

**Tabla 17**

*Evolución mensual de la dilución para un muestreo de tajos.*

Empresa	Tipo	Código	Labor	2021						Promedio	2022					Promedio
				Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Alfa	TE	038169	TJ 66 (S/N 3136-N (EST))	-	-	36.97	-	31.03	-	0.34	-	-	-	35.14	29.25	0.32
Alfa	TL	036130	TJ 165 (S/N3143-N (CHI))	44.85	46.04	43.94	42.22	-	-	0.44	40.80	39.02	40.48	-	-	0.40
Alfa	TC	038183	TJ 463 (S/N 3195-S (2S))	-	-	-	58.27	54.89	-	0.57	56.15	53.60	56.25	56.00	-	0.56
Alfa	TR	028182	TJ 105-A (S/N 3105-S (CHI))	-	-	50.00	51.08	50.00	54.90	0.51	41.67	52.38	40.35	-	-	0.46
Comiluz	TE	017852	TJ 253 (CHI 10382-3S(GAL))	62.50	-	64.80	56.08	-	63.03	0.62	60.37	-	62.03	53.03	-	0.58
Comiluz	TL	037968	TJ 28 (CHI 9201-1N (S/N))	-	-	38.71	30.28	36.75	33.93	0.35	-	-	34.21	30.97	32.43	0.33
Comiluz	TC	037529	TJ 30 (S/N 3013-N (CHI))	-	-	47.20	31.20	35.34	-	0.38	34.07	34.62	37.04	-	-	0.35
Comiluz	TR	012787	TJ 458-VALERIA H	-	48.59	-	29.13	-	-	0.39	31.19	32.85	30.66	-	-	0.32
Mincotrall	TE	037695	TJ 1070 (S/N 2527-N(CHI))	-	-	52.78	52.81	46.84	37.78	0.48	36.43	47.13	40.444	-	-	0.41
Mincotrall	TL	038694	TJ 571 (CHI 10227-15N(SN))	-	-	-	-	-	44.90	0.45	27.43	-	-	-	-	0.27
Mincotrall	TC	033072	TJ 854 (CHI 10602-0(S/N))	-	-	-	36.57	-	-	0.37	-	33.08	32.00	-	-	0.33
Mincotrall	TR	033072	TJ 854 (CHI 10602-0(S/N))	-	66.87	76.17	67.25	56.83	59.57	0.65	61.07	61.38	-	-	-	0.61
Mitasa	TE	037937	TJ 248 (CHI 2308-11S (S/))	-	-	43.04	40.00	36.17	-	0.40	28.57	25.98	27.78	27.42	-	0.27
Mitasa	TL	038805	TJ 400 (CHI 10070-2BS (G))	-	-	-	-	-	35.42	0.35	20.69	-	20.51	-	-	0.21
Mitasa	TC	037937	TJ 248 (CHI 2308-11S (S/))	-	-	-	-	-	51.15	0.51	-	38.57	36.96	-	38.69	0.38
Mitasa	TR	038682	TJ 1257 (GAL 10138-S(RP))	-	44.93	41.54	42.22	42.96	43.80	0.43	-	42.54	13.33	40.31	-	0.32

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 18***Evolución mensual por contratistas mineras de la dilución en tajos.*

Empresa	Promedio			2021						Promedio			2022			Promedio
	2018	2019	2020	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Alfa	54.32	56.49	50.70	51.80	51.61	54.17	50.88	47.96	48.15	0.51	46.88	46.68	47.66	46.85	43.7	0.46
Cancer	50.00	49.00	48.00	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00
Comiluz	41.30	43.13	40.68	46.58	43.53	41.23	38.57	39.69	35.12	0.41	35.80	37.10	31.52	35.28	34.8	0.35
Mincotrall	45.96	45.38	41.91	40.78	41.78	43.83	43.62	39.89	39.82	0.42	35.98	33.00	39.13	34.35	26.7	0.34
Mitasa	53.73	51.70	54.31	45.83	50.30	54.55	47.85	40.34	43.42	0.47	38.91	42.01	29.51	38.64	43.6	0.39
<b>Total Tajos</b>	<b>49.06</b>	<b>49.14</b>	<b>47.12</b>	<b>46.25</b>	<b>46.80</b>	<b>48.44</b>	<b>45.23</b>	<b>41.97</b>	<b>41.63</b>	<b>0.45</b>	<b>39.39</b>	<b>39.70</b>	<b>36.95</b>	<b>38.78</b>	<b>37.2</b>	<b>0.38</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 19***Evolución mensual por método de explotación de la dilución en tajos.*

Empresa	Promedio			2021						Promedio			2022			Promedio
	2018	2019	2020	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	2021	Ene	Feb	Mar	Abr	May	2022
Desquinche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00
TE	47.24	48.50	46.28	46.07	45.77	46.03	45.49	42.52	41.04	0.44	41.22	40.50	38.82	37.70	35.8	0.39
TL	45.89	43.86	38.05	43.92	37.98	39.47	36.92	37.60	32.71	0.38	30.82	35.52	31.51	33.40	33.9	0.33
TC	51.18	49.29	48.98	44.06	47.99	49.03	40.53	40.15	41.98	0.44	41.11	36.80	38.39	39.34	38.2	0.39
TR	54.49	57.54	52.12	53.21	50.17	54.78	55.49	46.04	46.96	0.51	45.80	45.77	42.88	44.59	43.65	0.45
Circado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00
<b>Total Tajos</b>	<b>49.70</b>	<b>49.80</b>	<b>46.36</b>	<b>46.82</b>	<b>45.48</b>	<b>47.33</b>	<b>44.61</b>	<b>41.58</b>	<b>40.67</b>	<b>0.44</b>	<b>39.74</b>	<b>39.65</b>	<b>37.90</b>	<b>38.76</b>	<b>37.9</b>	<b>0.39</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **3.5 Procesamiento de información.**

Los datos recolectados de los explosivos respecto a sus propiedades técnicas de catálogo son procesados por medio de una metodología de selección de explosivos que evalúa principalmente su nivel energético. Se recolectan los datos de campo de las propiedades fisicoquímicas de los explosivos seleccionados para ser contrastados con los teóricos de catálogo. Planteado el rediseño de la malla de perforación y voladura que incluye los explosivos seleccionados, se recolectan datos de campo del minado de tajos antes y después del cambio para evaluar numéricamente su impacto en la altura de minado y dilución. Con el fin de tener un mayor alcance sobre la influencia del cambio se recolectan reportes de la medición mensual de lineales y tajos del área de ingeniería con los cuales se evalúa numéricamente la evolución mensual respecto a la altura de minado y dilución.

#### ***3.5.1 Metodología de selección de explosivos.***

Los explosivos constituyen una variable controlable y parte esencial del diseño de una voladura, por lo cual es preciso plantear una metodología de selección que permita elegir de un grupo de explosivos aquellos que mejor se ajusten a los requerimientos particulares del trabajo asignado. Entre los factores utilizados en la metodología de selección de explosivos se prioriza el referido a las propiedades de la roca, el cual es complementado con otros factores como precio del explosivo, diámetro del taladro, volumen de roca a volar, humos, presencia de agua, problemas de suministro, condiciones atmosféricas, condiciones de seguridad, atmosfera explosiva y problemas del entorno. La metodología de selección de explosivos está dirigida a evaluar la roca, su entorno y el minado. Se estructura en 4 partes que se procede a desarrollar.

**Primera parte:** Características de la roca, su entorno y el minado.

La descripción de características particulares de la roca, su entorno y el minado son las condiciones sobre la cual parte la metodología de selección de explosivos organizándose esta en una tabla.

**Tabla 20***Características de la roca, su entorno y el minado*

Factores de selección	Dirigido	Características	Valor	Descripción
Propiedades de la roca	Roca	RMR	[21,60]	La roca tiene una calidad del macizo rocoso de mala a regular
	Roca	UCS (MPa)	[20,200]	La roca tiene una resistencia compresiva uniaxial variable
	Roca	Roca	Variable	La roca varia de muy fisurada a masiva resistente
	Roca	Yacimiento	Filoniano	Presenta sistema de vetas sub horizontal de potencia de 0.1 a 2m
	Roca	Discontinuidad	Fallas	Presenta sistema de fallas predominantemente sub verticales
Presencia de agua	Entorno	Humedad (%)	[0,5]	La presencia de agua es escasa
Problema del entorno	Entorno	Vibraciones	Mediana	Es la perturbación de la estabilidad de los tajos por la voladura
Humos	Entorno	Balance de O2	Mediana	Se acrecienta por problemas de ventilación
Condición atmosférica	Entorno	°C	[10,35]	La temperatura es variable aumentando con la profundidad
Atmosfera explosiva	Entorno	Inflamabilidad	Baja	El entorno presenta bajo potencial de inflamabilidad
Diámetro del taladro	Minado	$\phi$ (mm)	36 y 38	Para el minado de tajos se perforan los taladros con Jack Leg
Volumen de roca a volar	Minado	$M^3$	[2,4]	Nivel de producción en el minado de tajos por disparo
Condiciones de seguridad	Minado	Sensibilidad	Mediana	Se busca el equilibrio entre el binomio sensibilidad y seguridad

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Segunda parte:** Determinación del perfil de explosivo.

Se analiza por separado a cada una de las características particulares de la roca, su entorno y el minado esto con el fin de plantear que características específicas de los explosivos presentes en el mercado cubrirán dichas necesidades en la voladura. Al conjunto de características del explosivo obtenidas se le conoce como perfil del explosivo el cual se organiza en una tabla.

**Tabla 21***Determinación de perfil del explosivo*

Factores de selección	Dirigido	Características	Valor	Características de los explosivos
Propiedades de la roca	Roca	RMR	60	Mediana densidad y velocidad de detonación
	Roca	RMR	21	Baja densidad y velocidad de detonación
Presencia de agua	Entorno	Humedad (%)	[0,5]	Resistente al agua, pero no determinante por la baja humedad
Problema del entorno	Entorno	Vibraciones	Mediana	Mediana energía de tensión para menor nivel de vibraciones
Humos	Entorno	Balance de O <sub>2</sub>	Mediana	Baja generación de gases tóxicos de detonación
Condición atmosférica	Entorno	°C	[10,35]	Para el rango de temperatura cuidar la congelación y exudación
Atmosfera explosiva	Entorno	Inflamabilidad	Baja	No se requiere trabajar con explosivos de seguridad
Diámetro del taladro	Minado	φ (mm)	36 y 38	Para taladros de diámetro menor a 50 mm se usan encartuchados
Volumen de roca a volar	Minado	M <sup>3</sup>	[2,4]	Para el ritmo de producción encartuchados de bajo diámetro
Condiciones de seguridad	Minado	Sensibilidad	Mediana	Resistente a los golpes, fricciones y estímulos subsónicos

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tercera parte:** Evaluación de factores involucrados en la metodología de selección de explosivos.

Los factores de selección se dividen en 2 grupos de acuerdo, si está dirigido a evaluar la roca o su entorno y minado.

#### **Evaluación de la roca.**

La roca es evaluada por el factor de selección, propiedades de la roca el cual parte de la relación directamente proporcional entre la calidad geomecánica del macizo rocoso y el requerimiento energético del explosivo en la voladura.

Se elabora una tabla donde se muestran las propiedades técnicas de los explosivos a cada una de las cuales se le asigna un valor. El objetivo de esta valoración es asignar a cada explosivo un valor referencial en función a su nivel energético. De la Tabla 5.3 se extraen los datos de los explosivos.

**Tabla 22**

*Valoración de propiedades técnicas de los explosivos.*

Explosivo	Roca		Fisicoquímicas				Índice de energía		Valor referencial por nivel energético del explosivo		
	Propiedad	Densidad relativa	Velocidad detonación	Presión de detonación	Energía	Volumen de gases	RWS	RBS	A+B	C+D	F+G
	Unidades	(g/cm <sup>3</sup> )	C (m/s)	(Kbar)	(Kcal/Kg)	(L/Kg)	(%)	(%)			
		A	B	C	D	E	F	G			
Emulnor 500	Cantidad	0.90	4400	44	628	952	63	75	0.147	0.116	0.112
	Valor	0.070	0.077	0.051	0.065	0.086	0.060	0.052			
Emulnor 1000	Cantidad	1.13	5800	95	785	920	85	120	0.190	0.191	0.164
	Valor	0.088	0.102	0.109	0.081	0.083	0.081	0.083			
Emulnor 3000	Cantidad	1.14	5700	93	920	880	100	145	0.189	0.203	0.196
	Valor	0.089	0.100	0.107	0.095	0.079	0.095	0.100			
Emulnor 5000	Cantidad	1.16	5500	88	1010	870	105	155	0.187	0.206	0.207
	Valor	0.090	0.096	0.101	0.105	0.078	0.100	0.107			
Famecorte E	Cantidad	1.10	4200	48	737.67	909	74	107	0.159	0.132	0.145
	Valor	0.086	0.074	0.055	0.076	0.082	0.071	0.074			
Exadit 45	Cantidad	1.02	3400	73	777.72	1017	86	113	0.139	0.165	0.160
	Valor	0.080	0.060	0.084	0.081	0.091	0.082	0.078			
Exadit 65	Cantidad	1.05	3600	82	799.71	1019	89	115	0.145	0.177	0.164
	Valor	0.082	0.063	0.094	0.083	0.092	0.085	0.080			
Emulex 45	Cantidad	1.00	4700	55	711.52	930	79	98	0.160	0.137	0.143
	Valor	0.078	0.082	0.063	0.074	0.084	0.075	0.068			
Emulex 65	Cantidad	1.12	5700	87	809.03	1004	90	126	0.187	0.184	0.173
	Valor	0.087	0.100	0.100	0.084	0.090	0.086	0.087			
Emulex 80	Cantidad	1.14	5600	89	999.04	940	113	157	0.187	0.206	0.216
	Valor	0.089	0.098	0.103	0.104	0.085	0.108	0.109			
Emulex 100	Cantidad	1.16	5600	91	1057.60	909	120	180	0.189	0.214	0.239
	Valor	0.090	0.098	0.105	0.110	0.082	0.114	0.125			
Exsablock	Cantidad	0.91	2800	23	411.09	771	45	54	0.120	0.069	0.080
	Valor	0.071	0.049	0.026	0.043	0.069	0.043	0.037			

Fuente: Elaboración propia, (2022).

El valor asignado a cada propiedad técnica del explosivo es el resultado del cociente de su cantidad entre la sumatoria de cantidades de los explosivos analizados. La sumatoria de valores asignados a cada propiedad técnica da como resultado el valor referencial por nivel energético del explosivo.

#### **Evaluación del entorno de roca y el minado.**

El entorno de roca y el minado son evaluados por los factores de selección: Precio del explosivo, diámetro de carga, volumen de roca a volar, humos, presencia de agua, problemas de suministro, condiciones atmosféricas, condiciones de seguridad, atmosfera explosiva y problemas del entorno.

**Tabla 23**

*Valoración de factores de selección de explosivos entorno de roca y minado.*

Explosivos	Dirigido		Entorno de roca				Minado				
	Factores	Presencia de agua	Atmosfera explosiva	Condición atmosférica	Problemas de entorno	Humos	Diámetro taladro	Volumen roca	Dotación	SST	Precio
	Unidades	Humedad (%)	Inflamabilidad (°C)	Temperatura (°C)	Vibraciones (Hz)	Balance (%)	Diámetro (in)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Suministro (Und)	Sensibilidad (%)	Precio S/Kcal
Emulnor 500	Cantidad			[-8;50]			[1;3.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0170
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulnor 1000	Cantidad			[-8;50]			[1;3.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0105
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulnor 3000	Cantidad			[-8;50]			[1;3.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0094
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulnor 5000	Cantidad			[-8;50]			[1;3.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0089
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Famecorte E	Cantidad			[-8;50]			[1;1.5]	[0;0.5]	6 Meses	Nº 8	0.0305
	Valor	Media	Media	Media	Alta	Alta	Baja	Baja	Media	Media	
Exadit 45	Cantidad			[-5;50]			0.875	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0129
	Valor	Media	Media	Media	Media	Media	Baja	Media	Media	Media	
Exadit 65	Cantidad			[-5;50]			0.875	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0119
	Valor	Media	Media	Media	Media	Media	Baja	Media	Media	Media	
Emulex 45	Cantidad			[-8;50]			[1;1.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0137
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulex 65	Cantidad			[-8;50]			[1;1.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0072
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulex 80	Cantidad			[-8;50]			[1;1.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0059
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Emulex 100	Cantidad			[-8;50]			[1;1.5]	[0;100]	12 Meses	Nº 8	0.0054
	Valor	Alta	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	
Exsablock	Cantidad			[-5;30]			[0.8;1.2]	[0;100]	18 Meses	Nº 8	0.0165
	Valor	Baja	Media	Media	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	

Fuente: Elaboración propia, (2022)

**Cuarta parte:** Elaboración de la matriz de decisión.

La matriz de decisión muestra los factores de selección de explosivos, agrupados respecto a la evaluación de la roca, su entorno o el minado. Se realiza un análisis cuantitativo y cualitativo de los factores de selección respecto a las características particulares de los explosivos, buscando encontrar el perfil de explosivos que cubran los requerimientos de trabajo en el minado de tajos.

**Tabla 24**

*Matriz de decisión para la selección de explosivos.*

Dirigido	La roca			Entorno de roca			Minado			Ordenamiento			
Factor de selección	Fisicoquímicas		Índice de energía	Nivel Energía	Presencia agua	Condición atmosférica	Humos	Diámetro taladro	Volumen roca	Precio S/KCal	Nivel energía	Entorno roca	Minado
Explosivos	A+B	C+D	C+D										
Emulnor 500	0.147	0.116	0.112	0.375	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0170	2	1	11
Emulnor 1000	0.190	0.191	0.164	0.545	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0105	8	2	6
Emulnor 3000	0.189	0.203	0.196	0.587	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0094	9	3	5
Emulnor 5000	0.187	0.206	0.207	0.600	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0089	10	4	4
Famecorte E	0.159	0.132	0.145	0.436	Media	Media	Alta	Baja	Baja	0.0305	3	9	12
Exadit 45	0.139	0.165	0.160	0.464	Media	Media	Media	Baja	Media	0.0129	5	11	8
Exadit 65	0.145	0.177	0.164	0.487	Media	Media	Media	Baja	Media	0.0119	6	12	7
Emulex 45	0.160	0.137	0.143	0.441	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0137	4	5	9
Emulex 65	0.187	0.184	0.173	0.544	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0072	7	6	3
Emulex 80	0.187	0.206	0.216	0.610	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0059	11	7	2
Emulex 100	0.189	0.214	0.239	0.642	Alta	Media	Alta	Baja	Media	0.0054	12	8	1
Exsablock	0.120	0.069	0.080	0.269	Baja	Media	Alta	Baja	Media	0.0165	1	10	10

Fuente: Elaboración propia, (2022)

### 3.5.2 Rediseño de mallas de perforación y voladura.

El rediseño de la malla de perforación y voladura se basa en 2 variaciones respecto a la malla de perforación y voladura inicial y se aplicó a los 4 métodos de explotación estudiados. Con el fin de evaluar el rediseño se describen las mallas de perforación y voladura inicial y modificada.

#### Variaciones para el rediseño de la malla de perforación y voladura:

- El cambio de explosivo de dinamita a emulsión.
- Variación de la malla de perforación.

**Métodos de explotación donde se aplica el rediseño de la malla de perforación y voladura:**

- TE (Tajos corte y relleno ascendente)
- TR (Tajos recuperación pilares y puentes)
- TC (Tajos cámaras frontón y pilares)
- TL (Tajos Long Wall)

#### Primer método - Tajo corte y relleno ascendente (TE)

**Tabla 25**

*Malla de perforación para método TE (Inicial – Modificada).*

Perforación	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de perforación	%	92.50	96.50
Barra de perforación	ft.	5	5
Longitud de perforación	m.	1.41	1.47
Taladros cargados	Und.	14	11
Taladros de alivio	Und.	0	0
Taladros vacíos arranque	Und.	0	0
Diámetro de broca	mm.	38	38
Equipo de perforación	Und.	Jack Leg	Jack Leg

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 26***Resultados de voladura para método TE (Inicial – Modificada).*

<b>Voladura</b>	<b>UND</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>
Eficiencia de voladura	%	92.00	96.00
Dinamita Semexa al 65% de 7/8" x 7" (1 Caja=25 Kg)	Cart.	70	0
Emulnor 1000 1 1/8" x 16" (Caja de 25 Kg – 88 Car)	Cart.	0	4
Emulnor 500 1-1/8" x 12" (Caja de 25 Kg – 154 Car)	Cart.	0	18
Total, explosivo	Kg.	5.68	4.06
Carmex de 6" (1.80 M) (Caja x 350 Und.)	Und.	14	11
Mecha Rápida de Ignición Z-18 Color Verde (Caja x 1500 Mts)	m.	6	6
<b>Resultados</b>	<b>UND</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>
Eficiencia de avance	%	85.10	92.64
Metros por disparo	m.	1.30	1.41
Metros cúbicos por disparo	m <sup>3</sup> .	3.11	3.39
Factor de Avance	M/m <sup>3</sup>	6.34	4.77
Factor de Carga	Kg/m <sup>3</sup>	1.83	1.20
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.52	0.34

Fuente: Elaboración propia, (2022).

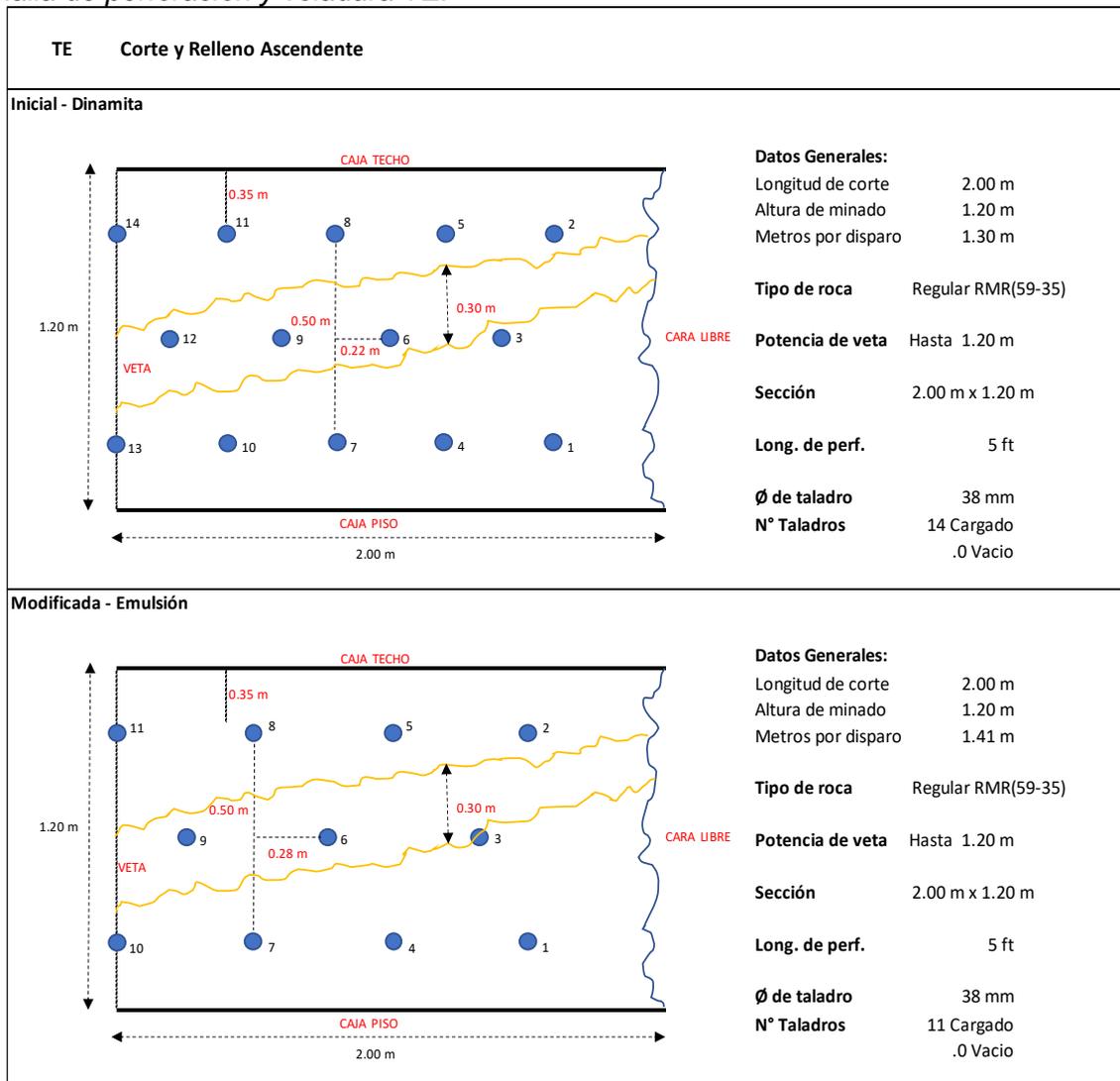
**Tabla 27***Distribución de carga explosiva para método TE (Inicial – Modificada).*

<b>RMR</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>
31-40			Dinamita Semexa	E 1000
Taladros	Ubicación de taladros		65% de 7/8" x 7"	E 500
			1 1/8" x 16"	1-1/8" x 12"
Arranque	0	0	0	0
1ª Ayuda	0	0	0	0
2ª Ayuda	0	0	0	0
Cuadrador	0	0	0	0
Corona	11	9	55	0
Arrastre	3	2	15	4
Total	14	12	70	4

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Figura 23**

*Malla de perforación y voladura TE.*



Fuente: Elaboración propia, (2022).

## Segundo método – Tajo recuperación pilares y puentes (TR)

**Tabla 28**

*Malla de perforación para método TR (Inicial – Modificada)*

Perforación	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de perforación	%	91.00	95.50
Barra de perforación	ft.	5	5
Longitud de perforación	m.	1.39	1.46
Taladros cargados	Und.	6	5
Taladros de alivio	Und.	0	0
Taladros vacíos arranque	Und.	0	0
Diámetro de broca	mm.	38	38
Equipo de perforación	Und.	Jack Leg	Jack Leg

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 29**

*Resultados de voladura para método TR (Inicial – Modificada).*

Voladura	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de voladura	%	85.00	89.50
Dinamita Semexa al 65% de 7/8" x 7" (1 Caja=25 Kg)	Cart.	24	0
Emulnor 1000 1 1/8" x 16" (Caja de 25 Kg – 88 Car)	Cart.	0	4
Emulnor 500 1-1/8" x 12" (Caja de 25 Kg – 154 Car)	Cart.	0	6
Total, explosivo	Kg.	1.95	2.11
Carmex de 6" (1.80 M) (Caja x 350 Und.)	Und.	6	5
Mecha Rápida de Ignición Z-18 Color Verde (Caja x 1500 Mts)	m.	6	6
Resultados	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de avance	%	77.35	85.47
Metros por disparo	m.	1.18	1.30
Metros cúbicos por disparo	m <sup>3</sup> .	2.86	3.17
Factor de Avance	M/m <sup>3</sup>	2.90	2.30
Factor de Carga	Kg/m <sup>3</sup>	0.68	0.67
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.19	0.19

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 30**

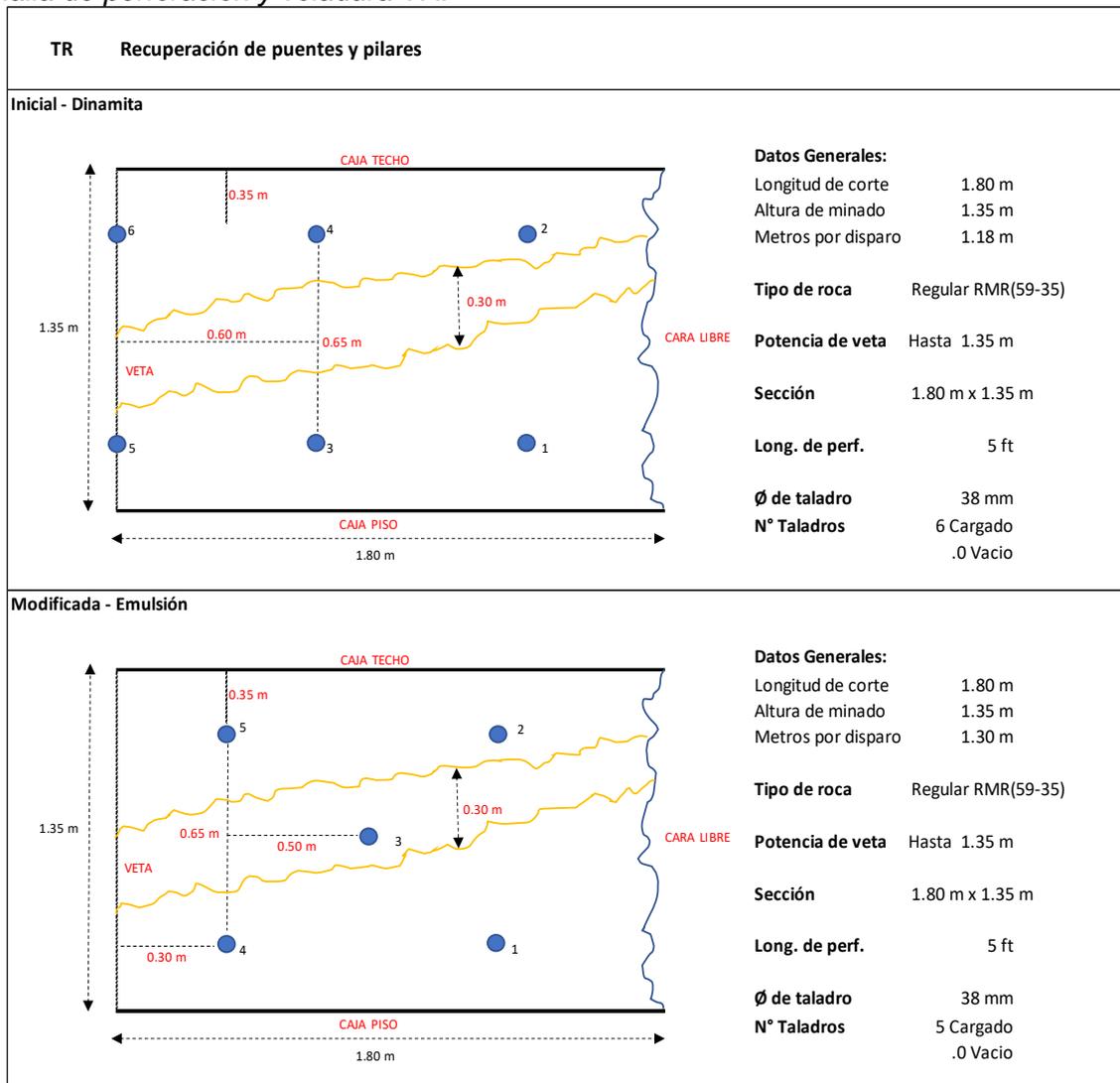
*Distribución de carga explosiva para método TR (Inicial – Modificada).*

RMR	Inicial	Modificada	Inicial	Modificada	
31-40	Ubicación de taladros		Dinamita Semexa	E 1000	E 500
Taladros			65% de 7/8" x 7"	1 1/8" x 16"	1-1/8" x 12"
Arranque	0	0	0	0	0
1ª Ayuda	0	0	0	0	0
2ª Ayuda	0	0	0	0	0
Cuadrador	0	0	0	0	0
Corona	6	3	24	0	6
Arrastre	0	2	0	4	0
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>6</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Figura 24**

*Malla de perforación y voladura TR.*



Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tercer método – Tajo cámaras frontón y pilares (TC)**

**Tabla 31**

*Malla de perforación para método TC (Inicial – Modificada).*

Perforación	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de perforación	%	92.50	95.50
Barra de perforación	ft.	5	5
Longitud de perforación	m.	1.41	1.46
Taladros cargados	Und.	19	14
Taladros de alivio	Und.	0	0
Taladros vacíos arranque	Und.	3	3
Diámetro de broca	mm.	38	38
Equipo de perforación	Und.	Jack Leg	Jack Leg

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 32***Resultados de voladura para método TC (Inicial – Modificada).*

<b>Voladura</b>	<b>UND</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>
Eficiencia de voladura	%	92.00	95.00
Dinamita Semexa al 65% de 7/8" x 7" (1 Caja=25 Kg)	Cart.	95	0
Emulnor 1000 1 1/8" x 16" (Caja de 25 Kg – 88 Car)	Cart.	0	20
Emulnor 500 1-1/8" x 12" (Caja de 25 Kg – 154 Car)	Cart.	0	8
Total, explosivo	Kg.	7.71	6.98
Carmex de 6" (1.80 M) (Caja x 350 Und.)	Und.	19	14
Mecha Rápida de Ignición Z-18 Color Verde (Caja x 1500 Mts)	m.	6	6
<b>Resultados</b>	<b>UND</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>
Eficiencia de avance	%	85.10	90.73
Metros por disparo	m.	1.30	1.38
Metros cúbicos por disparo	m <sup>3</sup> .	3.63	3.87
Factor de Avance	M/m <sup>3</sup>	8.54	6.39
Factor de Carga	Kg/m <sup>3</sup>	2.12	1.80
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.61	0.52

Fuente: Elaboración propia, (2022).

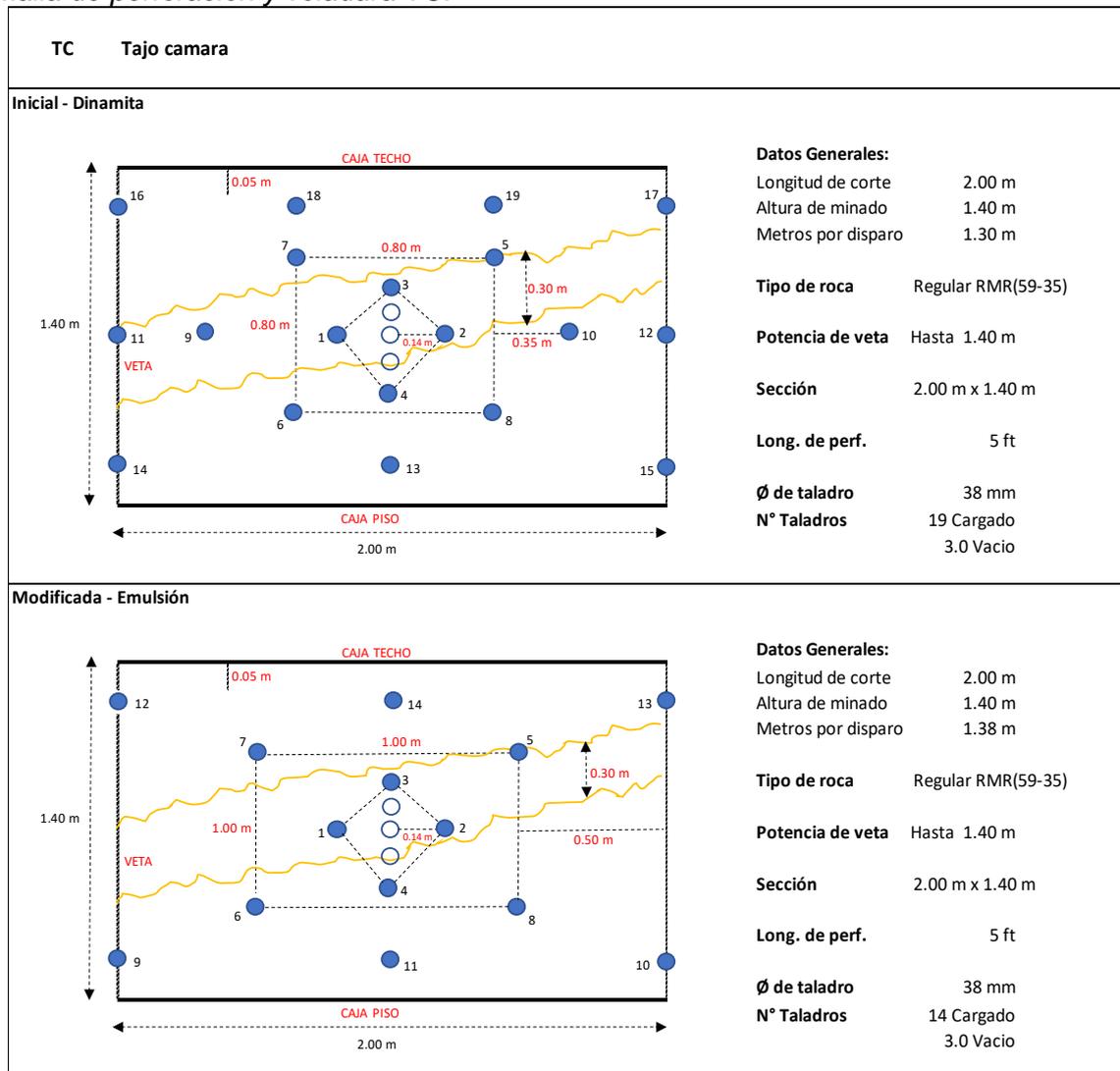
**Tabla 33***Distribución de carga explosiva para método TC (Inicial – Modificada).*

<b>RMR</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>	<b>Inicial</b>	<b>Modificada</b>	
<b>31-40</b>					
<b>Taladros</b>	<b>Ubicación de taladros</b>		<b>Dinamita Semexa 65% de 7/8" x 7"</b>	<b>E 1000 1 1/8" x 16"</b>	<b>E 500 1-1/8" x 12"</b>
Arranque	3	3	0	0	0
1ª Ayuda	0	0	0	0	0
2ª Ayuda	0	0	0	0	0
Cuadrador	0	0	0	0	0
Corona	19	10	95	20	0
Arrastre	0	4	0	0	8
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>95</b>	<b>20</b>	<b>8</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Figura 25**

*Malla de perforación y voladura TC.*



Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Cuarto método – Tajo long wall (TL)**

**Tabla 34**

*Malla de perforación para método TL (Inicial – Modificada).*

Perforación	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de perforación	%	92.50	96.50
Barra de perforación	ft.	5	5
Longitud de perforación	m.	1.41	1.47
Taladros cargados	Und.	11	9
Taladros de alivio	Und.	0	0
Taladros vacíos arranque	Und.	0	0
Diámetro de broca	mm.	38	38
Equipo de perforación	Und.	Jack Leg	Jack Leg

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 35***Resultados de voladura para método TL (Inicial – Modificada).*

Voladura	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de voladura	%	92.00	96.00
Dinamita Semexa al 65% de 7/8" x 7" (1 Caja=25 Kg)	Cart.	55	0
Emulnor 1000 1 1/8" x 16" (Caja de 25 Kg – 88 Car)	Cart.	0	8
Emulnor 500 1-1/8" x 12" (Caja de 25 Kg – 154 Car)	Cart.	0	10
Total, explosivo	Kg.	4.46	3.90
Carmex de 6" (1.80 M) (Caja x 350 Und.)	Und.	11	9
Mecha Rápida de Ignición Z-18 Color Verde (Caja x 1500 Mts)	m.	6	6
Resultados	UND	Inicial	Modificada
Eficiencia de avance	%	85.10	92.64
Metros por disparo	m.	1.30	1.41
Metros cúbicos por disparo	m <sup>3</sup> .	3.11	3.39
Factor de Avance	M/m <sup>3</sup>	4.98	3.91
Factor de Carga	Kg/m <sup>3</sup>	1.43	1.15
Factor de Potencia	Kg/Tn	0.41	0.33

Fuente: Elaboración propia, (2022).

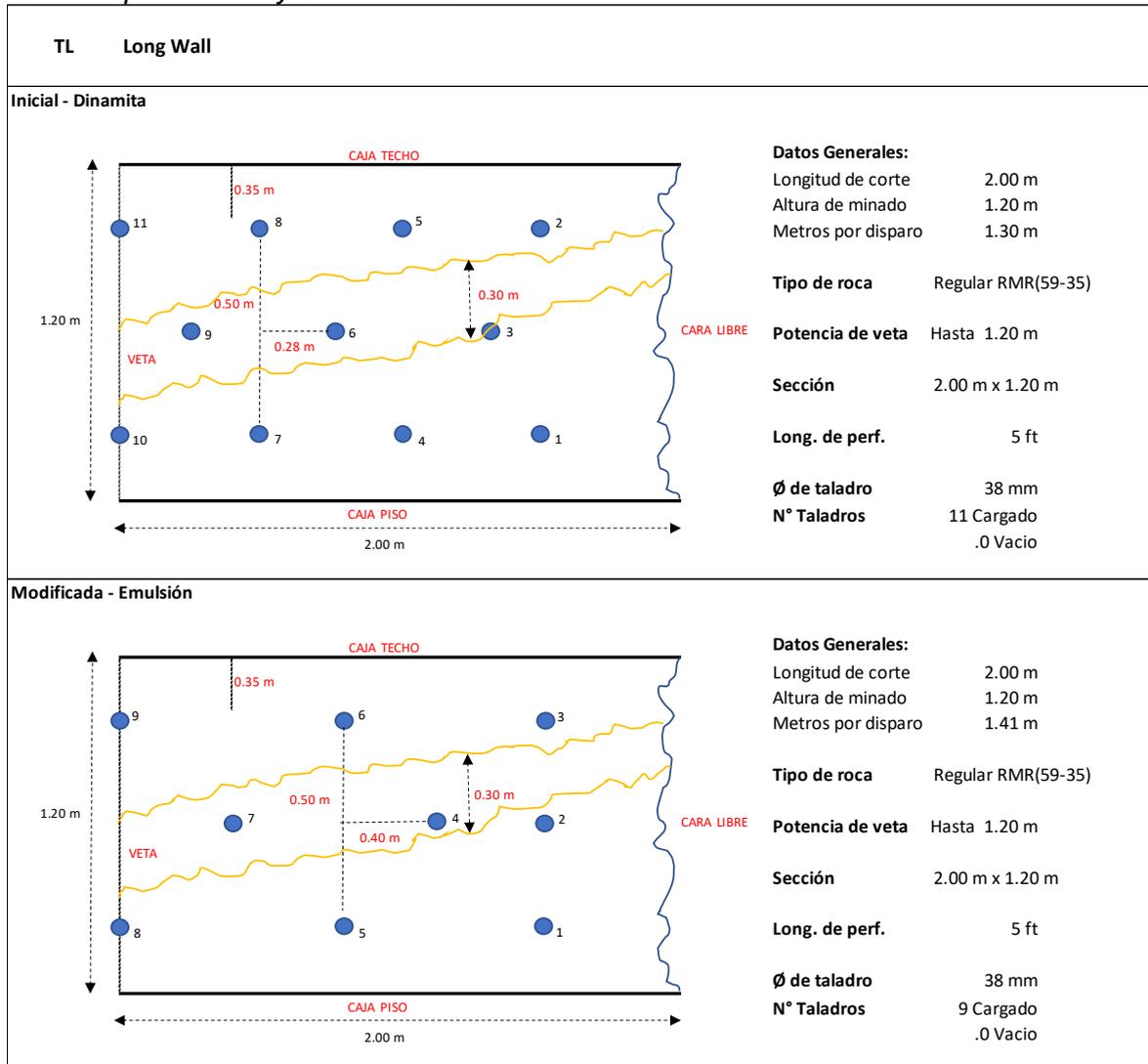
**Tabla 36***Distribución de carga explosiva para método TL (Inicial – Modificada).*

RMR	Inicial	Modificada	Inicial	Modificada	
31-40	Ubicación de taladros		Dinamita Semexa 65% de 7/8" x 7"	E 1000 1 1/8" x 16"	E 500 1-1/8" x 12"
Taladros					
Arranque	0	0	0	0	0
1ª Ayuda	0	0	0	0	0
2ª Ayuda	0	0	0	0	0
Cuadrador	0	0	0	0	0
Corona	11	5	55	0	10
Arrastre	0	4	0	8	0
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>55</b>	<b>8</b>	<b>10</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Figura 26**

*Malla de perforación y voladura TL.*



Fuente: Elaboración propia, (2022).

### **3.5.3 Formulación de costos operativos.**

Conociendo los factores técnicos involucrados el minado de tajos. Se plantea el costo de explotación y extracción de mineral (Locomotora y Volquetes).

#### **Costo de explotación.**

La explotación de tajos es una actividad realizada por las empresas contratistas mineras por lo cual se plantea la generación de precios unitarios para su valorización mensual. Los precios unitarios estarán expresados en  $S/m^3$  y se diferenciarán por el tipo de método de explotación. Se plantean los precios unitarios de julio 2021 a junio 2022 usando dinamita y emulsión.

La formulación de precios unitarios para los 4 métodos de explotación (TE, TC, TL y TR), se diferencia por el equipo de limpieza en manual, winche y pala.

Figura 27

Precio unitario de tajos con dinamita

MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A.									
Valorización									
ESTRUCTURA DE COSTOS PARA LABORES									
Septiembre - 2021									
Lab	T0000052	TAJOS CORTE & RELLENO ASCEN. C/W (P.V.>0.70	Sección:	4X1	Equi Limp:	WINCHE	Equi. Perf:	Jack-leg	
PARÁMETROS TÉCNICOS									
Nº	14	Efic. Perforación:	92.50%	m x disparo:	1.30	FP =	1.82	Kg/m3	
Long.	5.00	Efic. Voladura:	92.00%	m3 x disparo:	3.11	Fp =	6.33	m/m3	
Long.	4.63	Efic. Total:	85.10%	<b>Dinamita</b>					
RATIOS									
Roca: ROCA SEMIDURA									
<b>1.- COSTO DIRECTO</b>									
<b>1.1 Mano de Obra</b>									
Planilla Básica: OBRERO									
		Limpiez		Perfor.	Otros	Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total	
		0.50		0.50		100	69.890	69.89	
		0.50		0.50		100	62.460	62.46	
								132.35	
Leyes Sociales: OBRERO									
						% Leyes	S/. Planilla	S/. Sub Total	
						148.84%	132.350	196.99	
								196.99	
<b>1.2 Materiales</b>									
HERRAMIENTAS									
						Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total	
						2.00	5.184	10.37	
								10.37	
BARRAS									
				Nº Tal	Long.	Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total	
		3		4.00	2.78	38.85	0.196	7.60	
				4.00	1.85	25.90	0.255	6.61	
								14.21	
BROCAS									
				Nº Tal	Long.	Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total	
				4.00	1.85	25.90	0.226	5.85	
		3		4.00	2.78	38.85	0.241	9.35	
								15.20	
HERRAMIENTAS									
						Cantidad	S/. Guardia.	S/. Sub Total	
						100	10.890	10.89	
						2.00	0.250	0.50	
						3.12	1.230	3.84	
								15.23	
<b>1.3 Equipos</b>									
EQUIPOS									
						Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total	
						64.75	0.056	3.60	
						64.75	0.273	17.64	
								21.24	
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO</b>									
									<b>405.59</b>
<b>2.- COSTO INDIRECTO</b>									
ARTICULOS DE DORMIR									
						Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total	
		% Vivienda				2.00	0.553	1.11	
OTROS CONCEPTOS									
						%	S/.	S/. Sub Total	
		% Contingencias Lineales Y Tajos				5%	405.591	20.28	
		% Medicinas				2%	132.350	2.65	
		% Gastos Generales					506.838		
		% Utilidad Lineales Y Tajos				15%	506.838	76.03	
<b>SUB TOTAL COSTO INDIRECTO</b>									
									<b>100.06</b>
<b>COSTO TOTAL (DIRECTO + INDIRECTO)</b>									<b>505.65</b>
<b>TOTAL COSTO x METROS CÚBICO (Soles / m3)</b>									<b>162.45</b>
<b>EXPLOSIVOS</b>									
						Cantidad	Precio	S/. Sub Total	
		ACCESORIOS DE VOLADURA				70.00	0.808	56.53	
		DINAMITA SEMEXA AL 65% DE 7/8" X 7".				14.00	2.408	33.71	
		CARMEX DE 6" (180 M) (CAJA X 350 UND.)				6.00	1834	1100	
		MECHA RAPIDA DE IGNICION Z-18 COLOR VERDE. (CAJA X							
									<b>10.125</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

Figura 28

Precio unitario de tajos con emulsión

MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A.										
Valorización										
ESTRUCTURA DE COSTOS PARA LABORES										
Septiembre - 2021										
Lab	T0000052	TAJOS CORTE & RELLENO ASCEN. C/W	Sección:	4X1	Equi Limp:	WINCHE	Equi. Perf:	Jack-leg		
PARÁMETROS TÉCNICOS										
Nº	11	Efic. Perforación:	96.50%	m x disparo:	1.41	FP =	0.62	Kg/m3		
Long.	5.00	Efic. Voladura:	96.00%	m3 x disparo:	3.39	Fp =	5.42	m/m3		
Long.	4.83	Efic. Total:	92.64%	<b>Emulsion</b>						
RATIOS										
Roca: ROCA SEMIDURA										
<b>1.- COSTO DIRECTO</b>										
<b>1.1 Mano de Obra</b>										
Planilla Básica: OBRERO										
		Limpiez	Perfor.	Otros	Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total			
		0.50	0.50		100	69.890	69.89			
		0.50	0.50		100	62.460	62.46			
							<b>132.35</b>			
Leyes Sociales: OBRERO										
						% Leyes	S/. Planilla	S/. Sub Total		
						48.84%	132.350	196.99		
							<b>196.99</b>			
<b>1.2 Materiales</b>										
HERRAMIENTAS										
						Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total		
						2.00	5.184	10.37		
							<b>10.37</b>			
BARRAS										
			Nº Tal	Long.	Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total			
		3	1100	2.90	3185	0.196	6.23			
			1100	1.93	2123	0.255	5.42			
							<b>11.65</b>			
BROCAS										
			Nº Tal	Long.	Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total			
			1100	1.93	2123	0.226	4.80			
		3	1100	2.90	3185	0.241	7.66			
							<b>12.46</b>			
HERRAMIENTAS										
						Cantida	S/. Guardia.	S/. Sub Total		
						100	10.890	10.89		
						2.00	0.250	0.50		
						3.12	1.230	3.84		
							<b>15.23</b>			
<b>1.3 Equipos</b>										
						Pies	S/. Pies Perf.	S/. Sub Total		
						53.08	0.056	2.95		
						53.08	0.273	14.46		
							<b>17.41</b>			
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO</b>										
<b>396.46</b>										
<b>2.- COSTO INDIRECTO</b>										
ARTICULOS DE DORMIR										
						Tareas	S/. Tarea	S/. Sub Total		
						2.00	0.553	1.11		
						%	S/.	S/. Sub Total		
						5%	396.457	19.82		
						2%	132.350	2.65		
						15%	475.820	71.37		
							<b>94.95</b>			
<b>SUB TOTAL COSTO INDIRECTO</b>										
<b>94.95</b>										
<b>COSTO TOTAL (DIRECTO + INDIRECTO)</b>										
<b>491.41</b>										
<b>TOTAL COSTO x METROS CÚBICO (Soles / m3)</b>										
<b>145.03</b>										
<b>EXPLOSIVOS</b>										
						Cantida	Precio	S/. Sub Total		
						1100	2.567	28.24		
						4.00	2.307	9.23		
						18.00	1.736	31.25		
						6.00	1.775	10.65		
							<b>79.36</b>			

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Evolución mensual de precios unitarios de tajos (Julio 2021 - Junio 2022).**

Se presenta la evolución de precios unitarios de tajos de julio 2021 a junio 2022, clasificados por tipo de método de explotación y tipo de limpieza. Se realiza una comparación promedio de precios con dinamita y emulsión.

**Tabla 37**

*Evolución mensual de precios unitarios de tajos - 2021*

P. U (S/m <sup>3</sup> )	Método	Limpieza /Mes	Año 2021						Promedio (2021)	
			Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
P.U. – Inicial	TC (Tajo cámara)	Manual	203.48	205.74	206.30	206.89	208.07	208.52	206.50	
		Winche	146.20	148.07	148.55	149.09	150.22	150.67	148.80	
	TE (Corte y relleno ascendente)	Manual	226.88	229.00	229.45	229.97	231.22	231.60	229.69	
		Pala	160.06	161.71	162.08	162.53	163.73	164.11	162.37	
	TL (Tajo Long Wall)	Winche	160.06	161.71	162.08	162.53	163.73	164.11	162.37	
		Manual	222.03	223.96	224.36	224.79	226.01	226.32	224.58	
	TR (Recuperación de puentes)	Winche	155.15	156.61	156.93	157.30	158.48	158.78	157.21	
		Manual	266.19	268.15	268.52	268.91	270.21	270.44	268.74	
	P.U. - Modificado	TC (Tajo cámara)	Winche	193.55	195.02	195.28	195.60	196.85	197.08	195.56
			Manual	185.69	187.53	187.91	188.26	189.27	189.49	188.02
TE (Corte y relleno ascendente)		Winche	131.83	133.31	133.61	133.91	134.87	135.09	133.77	
		Manual	205.00	206.75	207.06	207.37	208.44	208.62	207.20	
TL (Tajo Long Wall)		Pala	143.47	144.80	145.03	145.27	146.29	146.48	145.22	
		Winche	143.47	144.80	145.03	145.27	146.29	146.48	145.22	
TR (Recuperación de puentes)		Manual	202.04	203.67	203.95	204.23	205.29	205.45	204.11	
		Winche	140.50	141.72	141.92	142.13	143.14	143.31	142.12	
		Manual	240.38	242.09	242.36	242.64	243.80	243.95	242.53	
		Winche	174.50	175.77	176.17	177.28	177.42	183.22	177.39	
PU - Promedio	Inicial	M - W - P	192.62	194.44	194.84	195.29	196.50	196.85	195.09	
PU - Promedio	Modificado	M - W - P	174.10	175.60	175.89	176.26	177.20	178.01	176.18	
Δ (Variación)	Inicial/Modificado	M - W - P	18.52	18.84	18.95	19.03	19.30	18.84	18.91	

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 38**

*Evolución mensual de precios unitarios de tajos – 2022*

P. U (S/m <sup>3</sup> )	Método	Limpieza /Mes	Año 2022						Promedio (2022)	
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio		
P.U. - Inicial	TC (Tajo cámara)	Manual	214.38	213.93	213.79	213.17	212.97	212.82	213.51	
		Winche	154.49	154.01	153.80	153.19	153.03	152.88	153.57	
	TE (Corte y relleno ascendente)	Manual	238.57	238.29	238.23	237.74	237.49	237.39	237.95	
		Pala	168.70	168.39	168.24	167.76	168.23	167.46	168.13	
	TL (Tajo Long Wall)	Manual	233.33	233.14	233.12	232.72	232.47	232.40	232.86	
		Winche	163.41	163.20	163.09	162.70	162.50	162.43	162.89	
	TR (Recuperación de puentes)	Manual	279.42	279.40	279.47	279.20	278.95	278.92	279.23	
		Winche	203.47	203.40	203.39	203.14	202.93	202.91	203.21	
	P.U. - Modificado	TC (Tajo cámara)	Manual	195.00	194.66	194.59	194.12	193.94	193.81	194.35
			Winche	138.68	138.33	138.19	137.72	137.58	137.46	137.99
TE (Corte y relleno ascendente)		Manual	215.02	214.83	214.80	214.43	214.20	214.12	214.56	
		Pala	150.69	150.46	150.36	150.00	149.81	149.73	150.17	
TL (Tajo Long Wall)		Manual	211.89	211.76	211.75	211.44	211.21	211.15	211.53	
		Winche	147.55	147.39	147.31	147.01	146.82	146.77	147.14	
TR (Recuperación de puentes)		Manual	252.09	252.08	252.16	251.94	251.72	251.70	251.95	
		Winche	183.22	183.18	183.18	182.97	182.79	182.78	183.02	
PU - Promedio		Inicial	M - W - P	202.72	202.46	202.37	201.93	201.87	201.63	202.16
PU - Promedio		Modificado	M - W - P	182.76	182.57	182.52	182.18	181.99	181.92	182.32
Δ (Variación)	Inicial/Modificado	M - W - P	19.96	19.89	19.85	19.75	19.88	19.71	19.84	

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Evolución mensual de costos de transporte de mineral (Julio 2021 - Junio 2022).**

Se presenta la evolución mensual de costos de extracción (Locomotora) y traslado (Volquetes) del mineral de los tajos. Se realiza una comparación de los costos del tonelaje producido con dinamita y emulsión para una misma recuperación de finos.

**Tabla 39**

*Evolución mensual de costos de transporte de mineral – 2021*

Tipo	Método	Und.	Año 2021						Total (2021)
			Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	TN	1,472.30	2,390.98	2,344.71	1,424.73	1,827.36	1,944.87	11,404.96
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	7,133.63	7,741.71	6,900.47	6,979.00	6,681.03	8,505.93	43,941.77
	TL (Tajo Long Wall)	TN	1,556.85	2,078.11	1,699.54	2,819.55	1,268.95	3,116.15	12,539.15
	TR (Recuperación de puentes)	TN	1,183.61	949.69	1,199.88	988.29	1,179.50	1,877.05	7,378.02
	Tonelaje_Inicial	TN	11,346.39	13,160.49	12,144.59	12,211.58	10,956.84	15,444.00	75,263.88
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	TN	1,416.36	2,232.62	2,119.51	857.60	1,787.09	1,880.09	10,293.27
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	6,470.58	7,054.25	6,013.49	6,231.06	6,224.24	7,891.18	39,884.82
	TL (Tajo Long Wall)	TN	1,389.12	1,918.93	1,608.95	2,710.34	1,209.73	2,992.18	11,829.26
	TR (Recuperación de puentes)	TN	1,007.95	897.47	1,039.74	1,399.03	1,133.08	1,818.96	7,296.24
	Tonelaje_Modificado	TN	10,284.02	12,103.28	10,781.69	11,198.04	10,354.15	14,582.41	69,303.59
<b>Δ TN (Inicial Dinamita/Modificado_Emulsión)</b>		<b>TN</b>	<b>1,062.37</b>	<b>1,057.22</b>	<b>1,362.90</b>	<b>1,013.53</b>	<b>602.69</b>	<b>861.59</b>	<b>5,960.30</b>
Precio Servicio de extracción de mineral		S/TN	5.72	5.72	5.72	5.72	5.74	5.74	5.73
Precio Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35
<b>Inicial Dinamita</b>									
Servicio de extracción de mineral		S/.	64,853.20	75,289.99	69,479.95	69,900.17	62,837.45	88,592.38	430,953.16
Servicio de traslado de mineral		S/.	230,898.99	267,816.07	247,142.46	248,505.58	222,971.60	314,285.34	1,531,620.05
Total_Dinamita			295,752.20	343,106.06	316,622.42	318,405.75	285,809.06	402,877.73	1,962,573.21
<b>Modificado_Emulsión</b>									
Servicio de extracción de mineral		S/.	58,780.96	69,241.76	61,682.71	64,098.61	59,381.03	83,650.00	396,835.07
Servicio de traslado de mineral		S/.	209,279.78	246,301.72	219,407.43	227,880.14	210,706.89	296,752.03	1,410,327.99
Total_Emulsión			268,060.73	315,543.48	281,090.14	291,978.75	270,087.93	380,402.04	1,807,163.06
<b>Δ Valorización (Inicial/Modificado)</b>		<b>S/.</b>	<b>27,691.46</b>	<b>27,562.59</b>	<b>35,532.27</b>	<b>26,427.00</b>	<b>15,721.13</b>	<b>22,475.69</b>	<b>155,410.14</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 40**

*Evolución mensual de costos de transporte de mineral – 2022*

Tipo	Método	Año 2022							Total (2022)
		Und.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	TN	1,006.65	1,150.30	1,758.20	1,420.30	1,450.60	2,700.50	9,486.55
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	10,028.30	7,035.40	7,008.50	6,060.20	7,020.50	8,005.40	45,158.30
	TL (Tajo Long Wall)	TN	1,667.59	1,500.30	1,407.50	1,785.40	1,345.60	1,900.10	9,606.49
	TR (Recuperación de puentes)	TN	721.46	1,750.10	1,600.20	808.50	1,700.65	1,100.20	7,681.11
	Tonelaje_Inicial	TN	13,424.00	11,436.10	11,774.40	10,074.40	11,517.35	13,706.20	71,932.45
Modifica da Emulsión	TC (Tajo cámara)	TN	1,000.43	1,083.15	1,685.63	1,388.44	1,353.86	2,489.30	9,000.81
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	9,517.21	6,398.03	6,291.82	5,258.18	6,473.91	7,082.81	41,021.96
	TL (Tajo Long Wall)	TN	1,480.31	1,428.66	1,355.16	1,525.30	1,263.38	1,761.18	8,813.99
	TR (Recuperación de puentes)	TN	687.33	1,608.83	1,405.87	798.27	1,487.50	1,043.29	7,031.10
	Tonelaje_Modificado	TN	12,685.28	10,518.67	10,738.49	8,970.19	10,578.65	12,376.59	65,867.86
<b>Δ TN (Inicial Dinamita/Modificado Emulsión)</b>		<b>TN</b>	<b>738.72</b>	<b>917.43</b>	<b>1,035.91</b>	<b>1,104.21</b>	<b>938.70</b>	<b>1,329.61</b>	<b>6,064.59</b>
Precio Servicio de extracción de mineral		S/TN	6.21	6.21	6.22	6.21	6.21	6.21	6.21
Precio Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35
<b>Inicial_Dinamita</b>									
Servicio de extracción de mineral		S/.	83,371.18	71,063.23	73,177.90	62,584.92	71,512.27	85,119.66	446,829.15
Servicio de traslado de mineral		S/.	273,178.40	232,724.64	239,609.04	205,014.04	234,378.07	278,921.17	1,463,825.36
Total_Dinamita			356,549.58	303,787.87	312,786.94	267,598.96	305,890.35	364,040.83	1,910,654.51
<b>Modificada Emulsión</b>									
Servicio de extracción de mineral		S/.	78,783.28	65,362.37	66,739.71	55,725.26	65,683.78	76,862.35	409,156.75
Servicio de traslado de mineral		S/.	258,145.46	214,054.91	218,528.24	182,543.36	215,275.46	251,863.53	1,340,410.96
Total_Emulsión			336,928.74	279,417.27	285,267.95	238,268.62	280,959.24	328,725.88	1,749,567.71
<b>Δ Valorización (Inicial/Modificado)</b>		<b>S/.</b>	<b>19,620.84</b>	<b>24,370.59</b>	<b>27,518.99</b>	<b>29,330.34</b>	<b>24,931.10</b>	<b>35,314.94</b>	<b>161,086.80</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

**Tabla 41**

*Evolución de costos de transporte de mineral – resumen*

<b>Tipo</b>	<b>Método</b>	<b>Und.</b>	<b>Total (2021)</b>	<b>Total (2022)</b>	<b>Total</b>
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	TN	11,404.96	9,486.55	20,891.51
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	43,941.77	45,158.30	89,100.07
	TL (Tajo Long Wall)	TN	12,539.15	9,606.49	22,145.64
	TR (Recuperación de puentes)	TN	7,378.02	7,681.11	15,059.13
	Tonelaje_Inicial	TN	75,263.88	71,932.45	147,196.33
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	TN	10,293.27	9,000.81	19,294.08
	TE (Corte y relleno ascendente)	TN	39,884.82	41,021.96	80,906.78
	TL (Tajo Long Wall)	TN	11,829.26	8,813.99	20,643.25
	TR (Recuperación de puentes)	TN	7,296.24	7,031.10	14,327.34
	Tonelaje_Modificado	TN	69,303.59	65,867.86	135,171.45
<b>Δ TN (Inicial_Dinamita/Modificado_Emulsión)</b>		<b>TN</b>	<b>5,960.30</b>	<b>6,064.59</b>	<b>12,024.89</b>
Precio_Servicio de extracción de mineral		S/TN	5.73	6.21	5.97
Precio_Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35
<b>Inicial_Dinamita</b>					
Servicio de extracción de mineral		S/.	430,953.16	446,829.15	877,782.31
Servicio de traslado de mineral		S/.	1,531,620.05	1,463,825.36	2,995,445.41
Total_Dinamita			1,962,573.21	1,910,654.51	3,873,227.72
<b>Modificada_Emulsión</b>					
Servicio de extracción de mineral		S/.	396,835.07	409,156.75	805,991.82
Servicio de traslado de mineral		S/.	1,410,327.99	1,340,410.96	2,750,738.95
Total_Emulsión			1,807,163.06	1,749,567.71	3,556,730.77
<b>Δ Valorización (Inicial/Modificado)</b>		<b>S/.</b>	<b>155,410.14</b>	<b>161,086.80</b>	<b>316,496.95</b>

Fuente: Elaboración propia, (2022).

## **Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados**

### **4.1 Relación entre la dilución y altura de minado.**

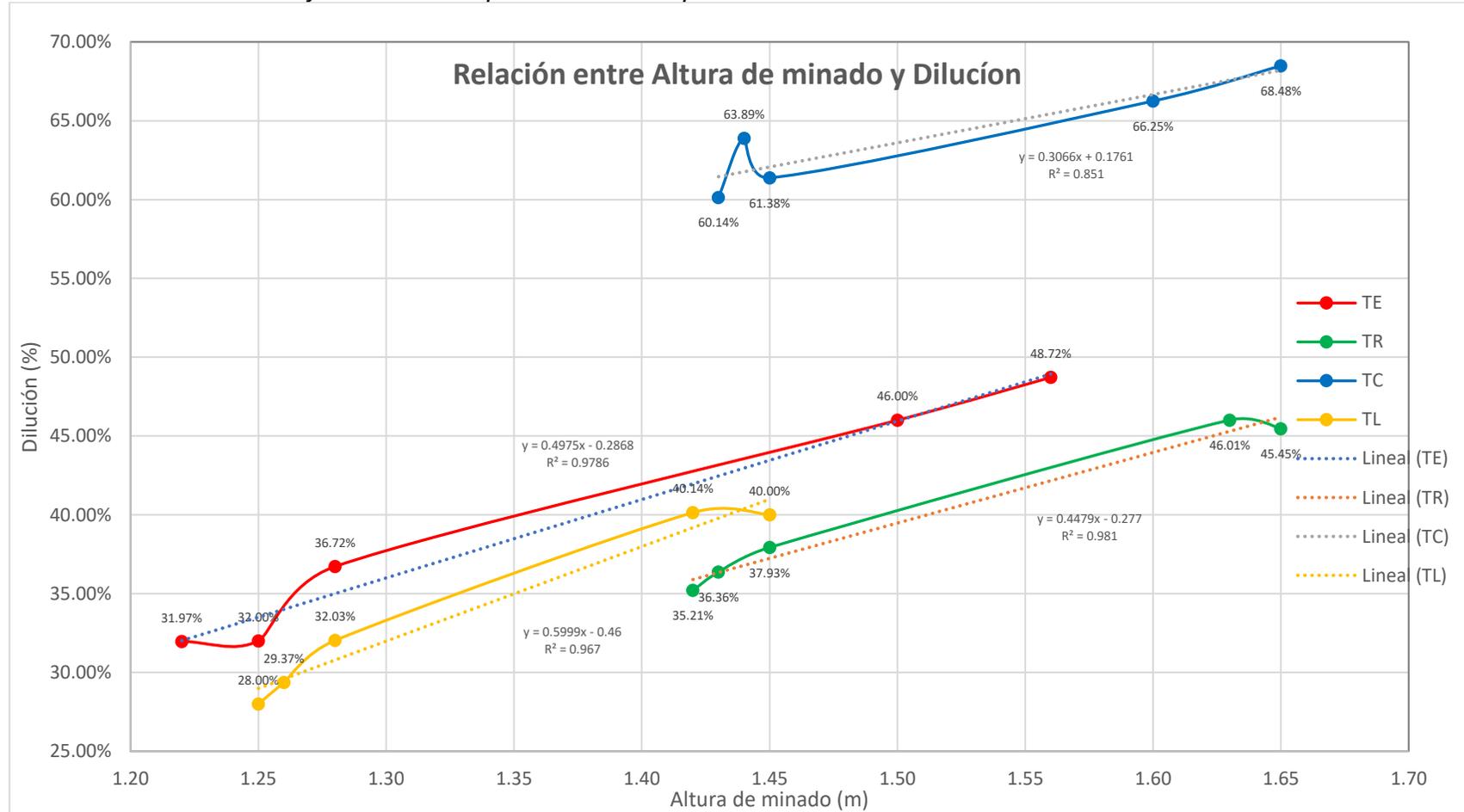
En base a los datos recolectados para cada método de explotación descrito anteriormente, desde el día 05 de febrero del 2022 al 02 de marzo del 2022; se observa la relación con tendencia lineal entre la dilución y altura de minado.

Se observa que al aplicar un rediseño en la malla de perforación y voladura de tajos este incide directamente en la reducción de la altura de minado y consecuentemente en la disminución de la dilución.

Lo cual se aprecia mejor al tomar un promedio mensual de la altura de minado y dilución del “Reporte mensual de lineales y tajos” del área de Ingeniería de Marsa; de julio de 2021 a mayo del 2022. Se observa que mientras menor sea la altura de minado, la dilución disminuirá, mostrando una relación directamente proporcional.

**Figura 29**

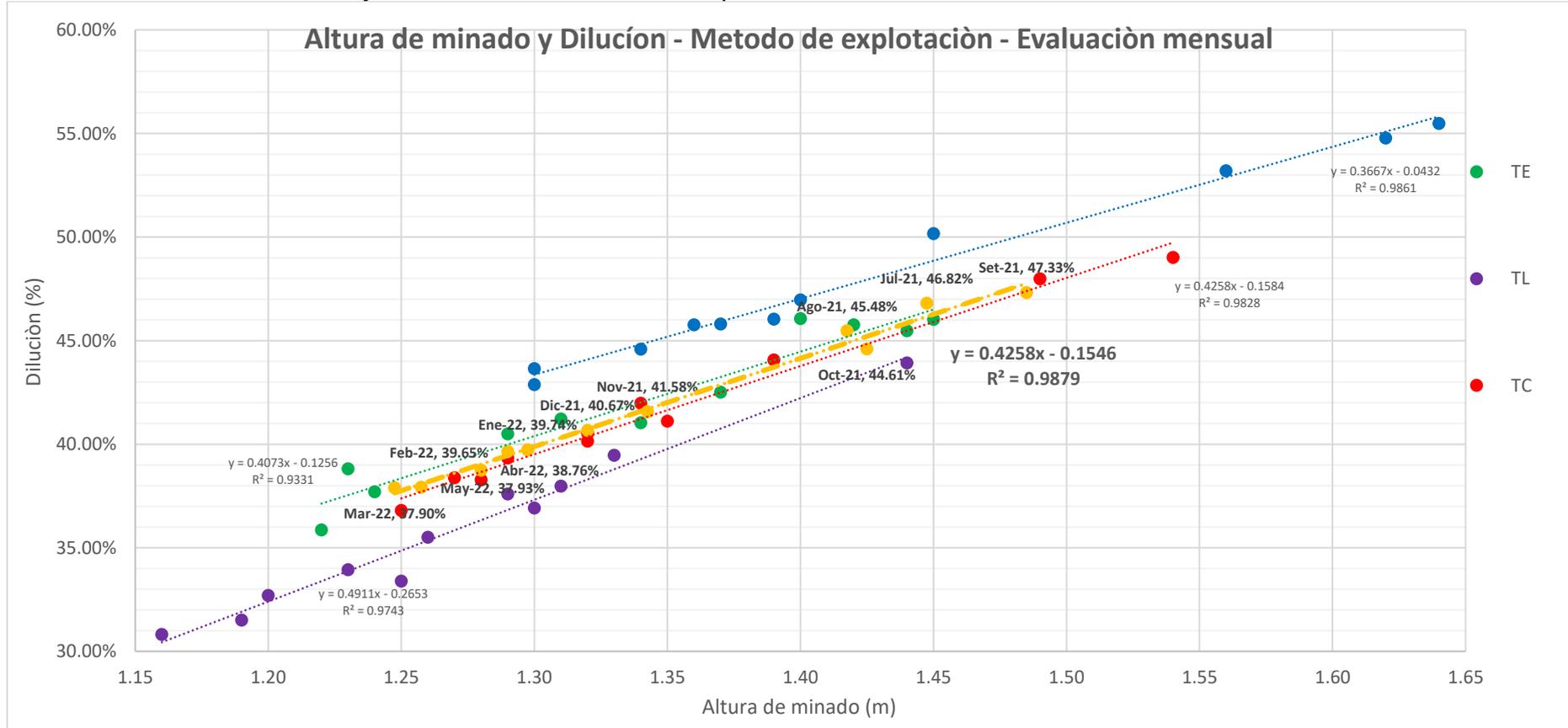
Relación entre altura de minado y dilución diaria por método de explotación.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 30**

Relación entre altura de minado y dilución mensual método de explotación.



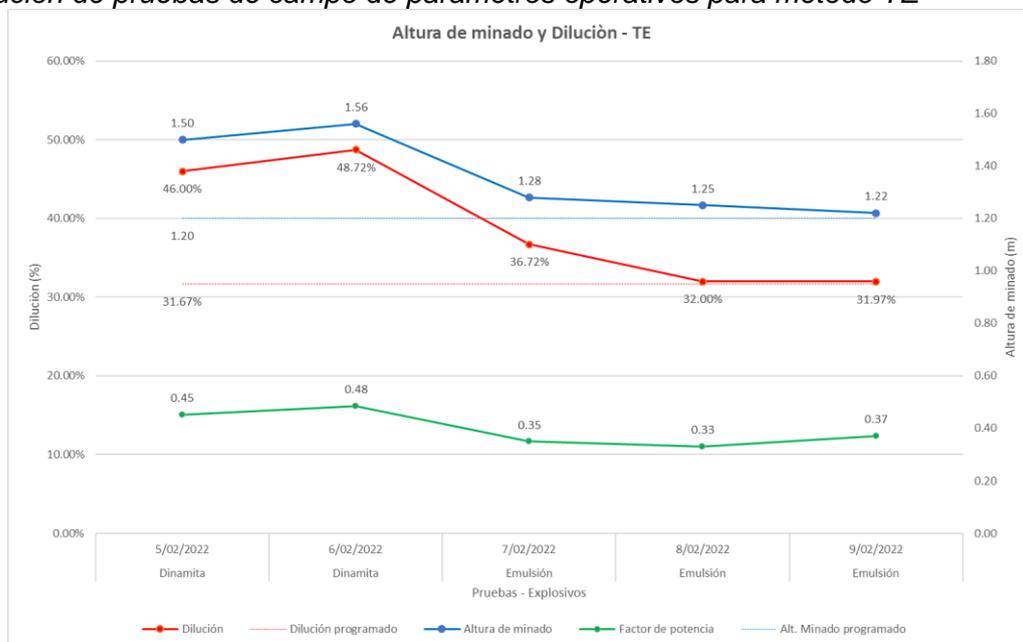
Fuente: Elaboración propia

## 4.2 Evolución mensual de parámetros operativos.

Evaluando cada método de explotación de tajos, aplicando el rediseño de la malla de perforación y voladura que incluye el uso de; dinamita y emulsión, y comparándolos con los resultados de altura de minado y dilución. Se observa que el factor de potencia se reduce, así como que la altura de minado se acerca al nivel programado evitándose así que la dilución aumente. Lo cual se aprecia mejor realizando pruebas de campo y tomando datos mensuales del “Reporte mensual de lineales y tajos”.

**Figura 31**

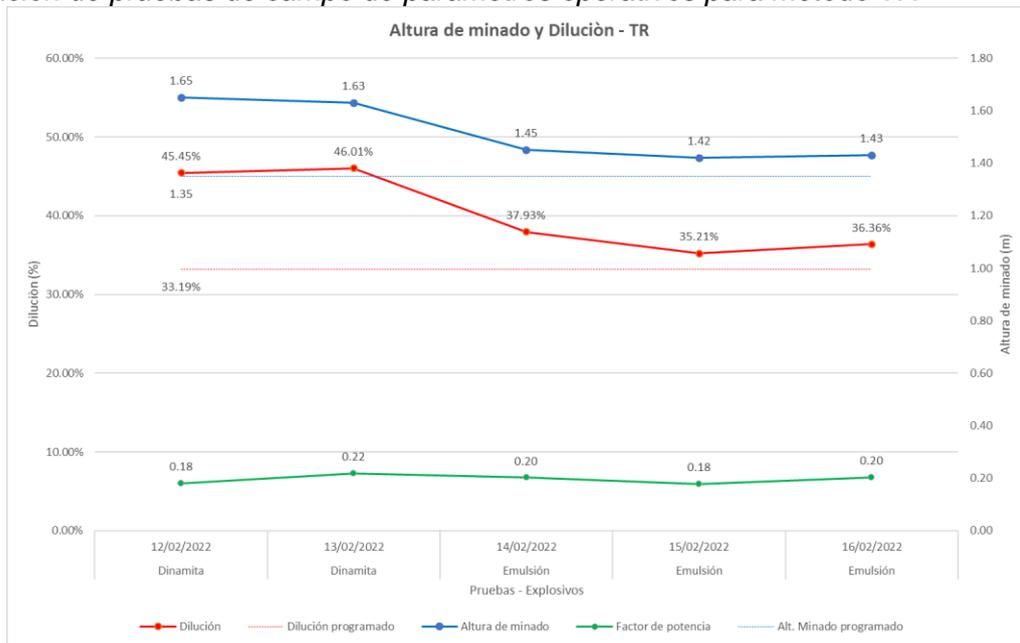
*Evolución de pruebas de campo de parámetros operativos para método TE*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 32**

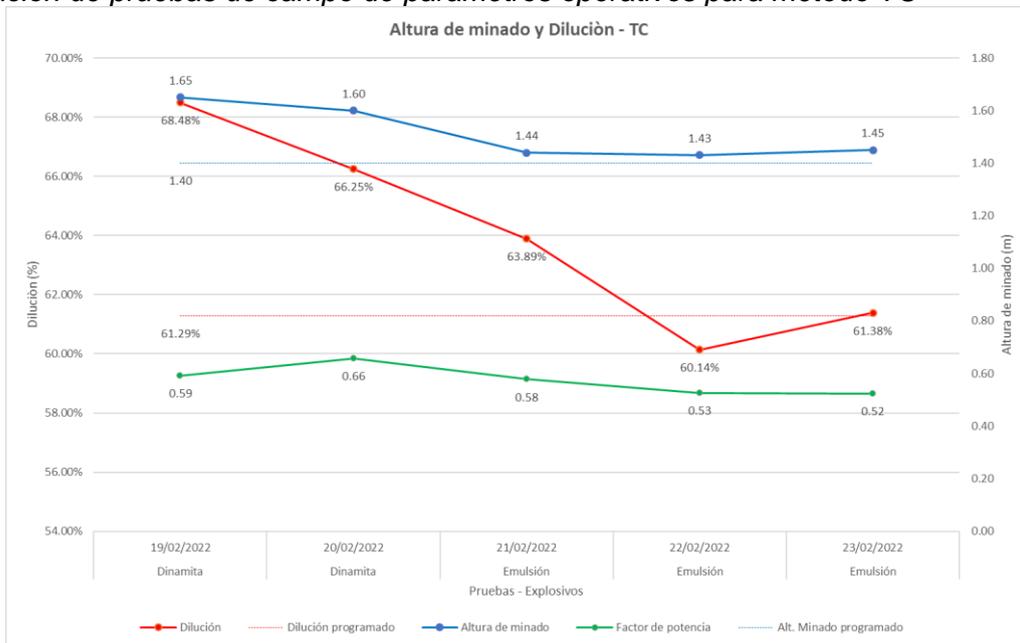
*Evolución de pruebas de campo de parámetros operativos para método TR*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 33**

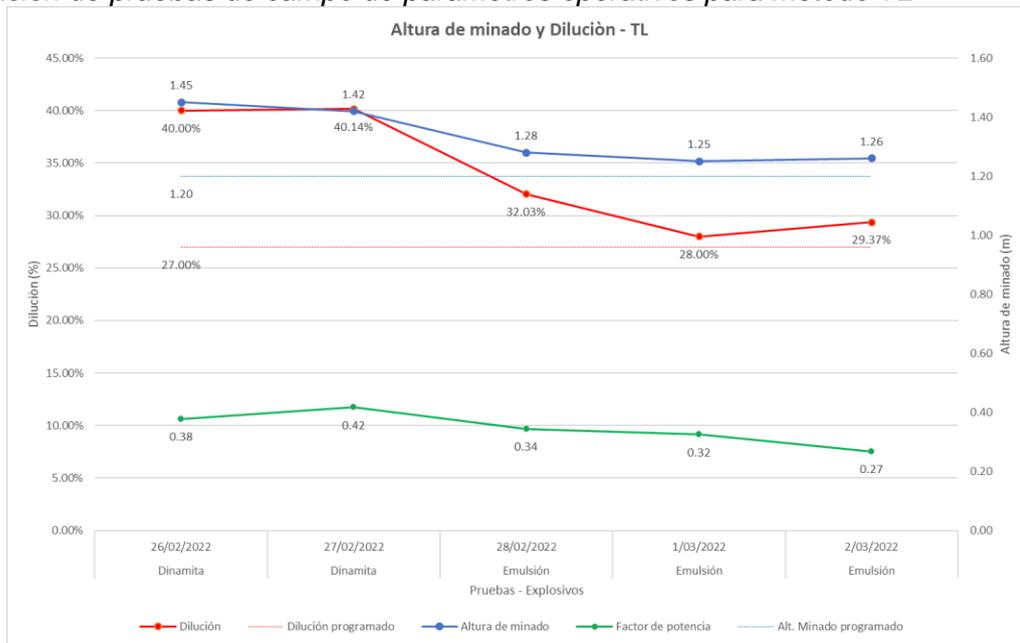
*Evolución de pruebas de campo de parámetros operativos para método TC*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 34**

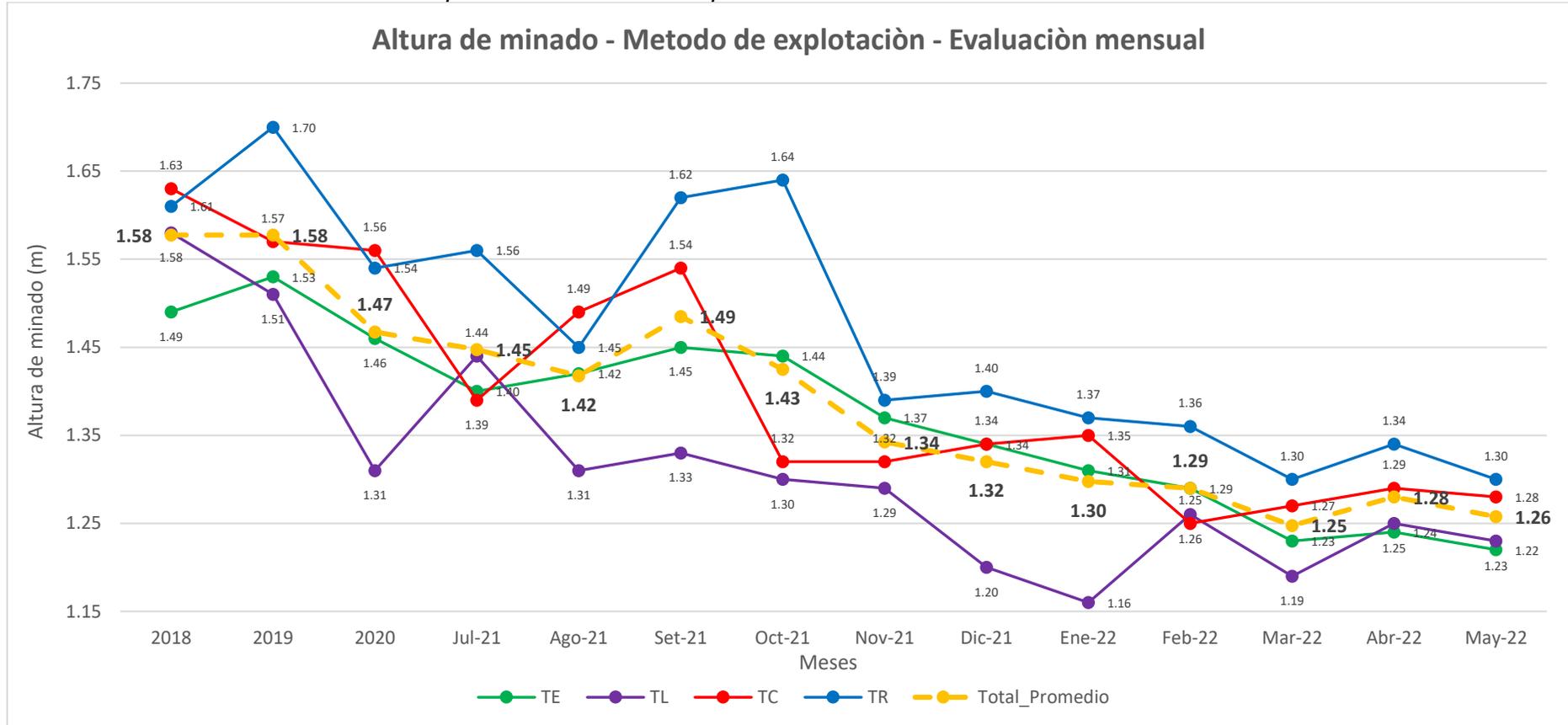
*Evolución de pruebas de campo de parámetros operativos para método TL*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 35**

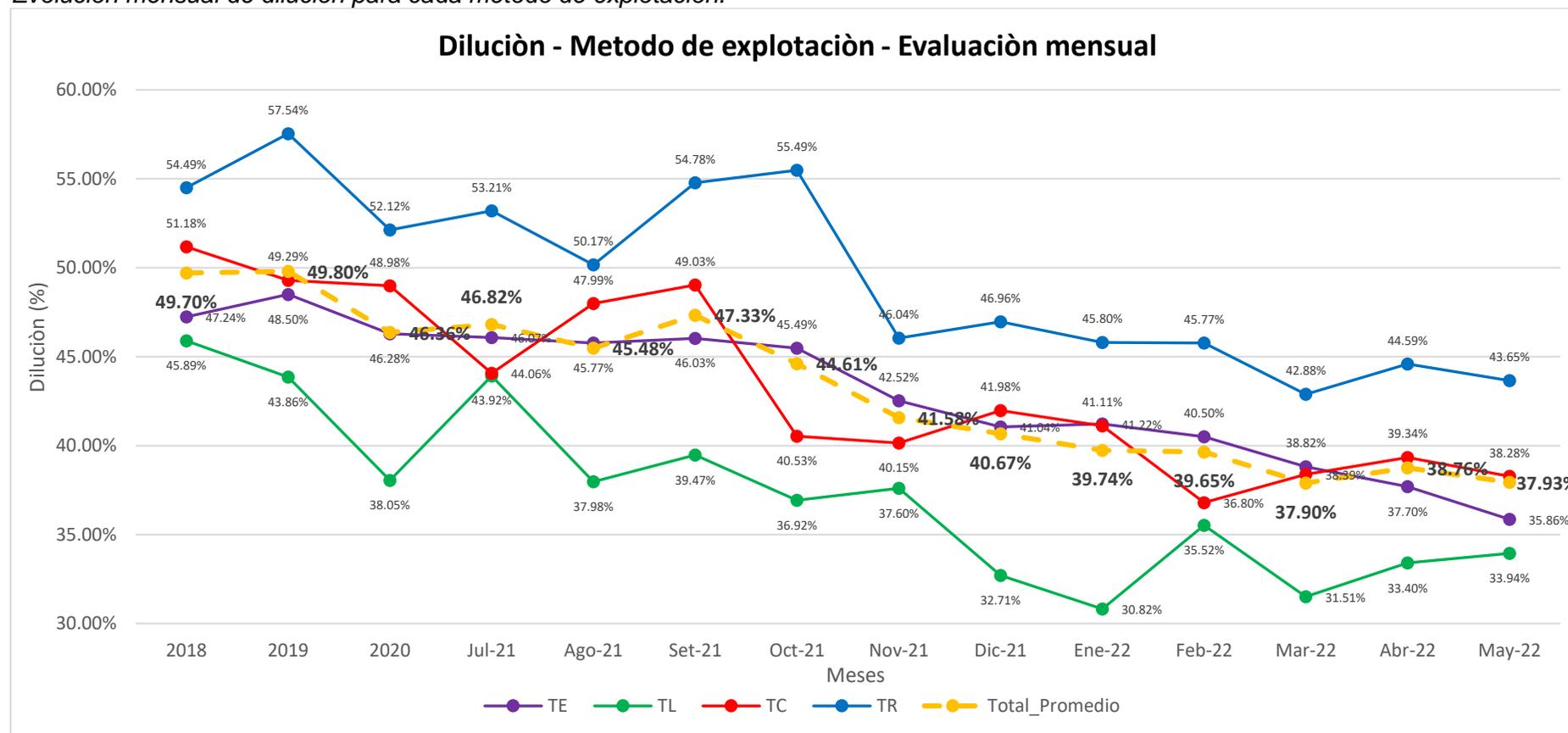
*Evolución mensual de altura de minado para cada método de explotación.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 36**

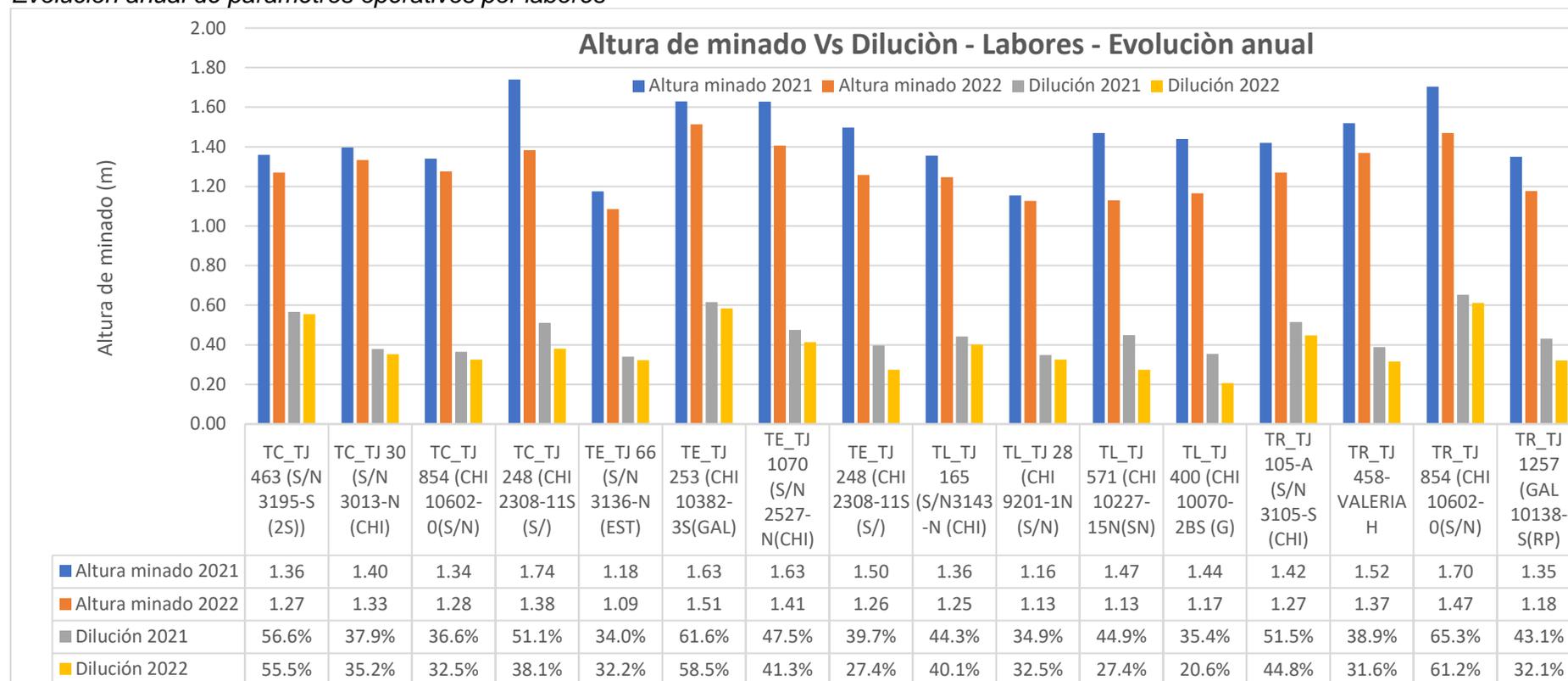
*Evolución mensual de dilución para cada método de explotación.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 37**

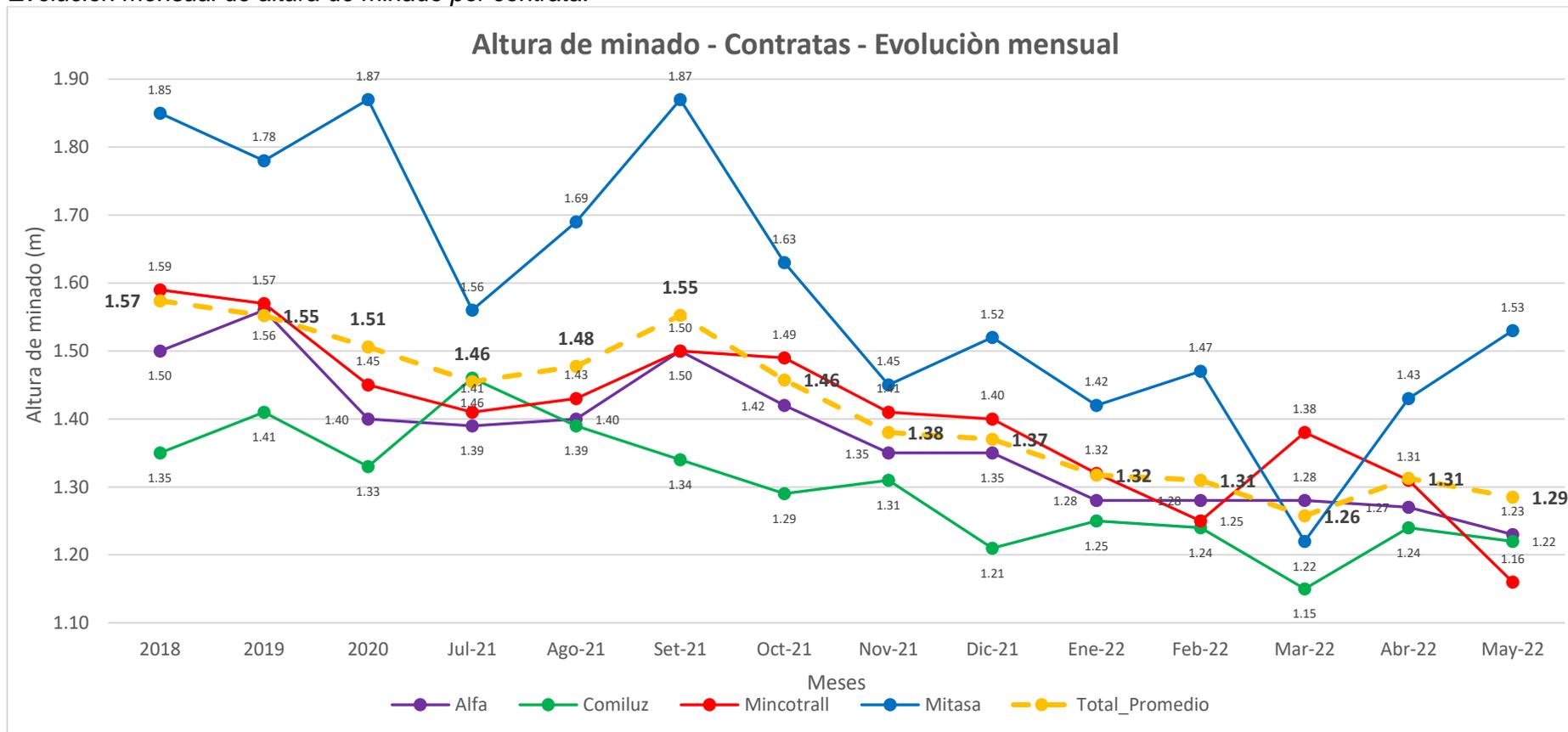
*Evolución anual de parámetros operativos por labores*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 38**

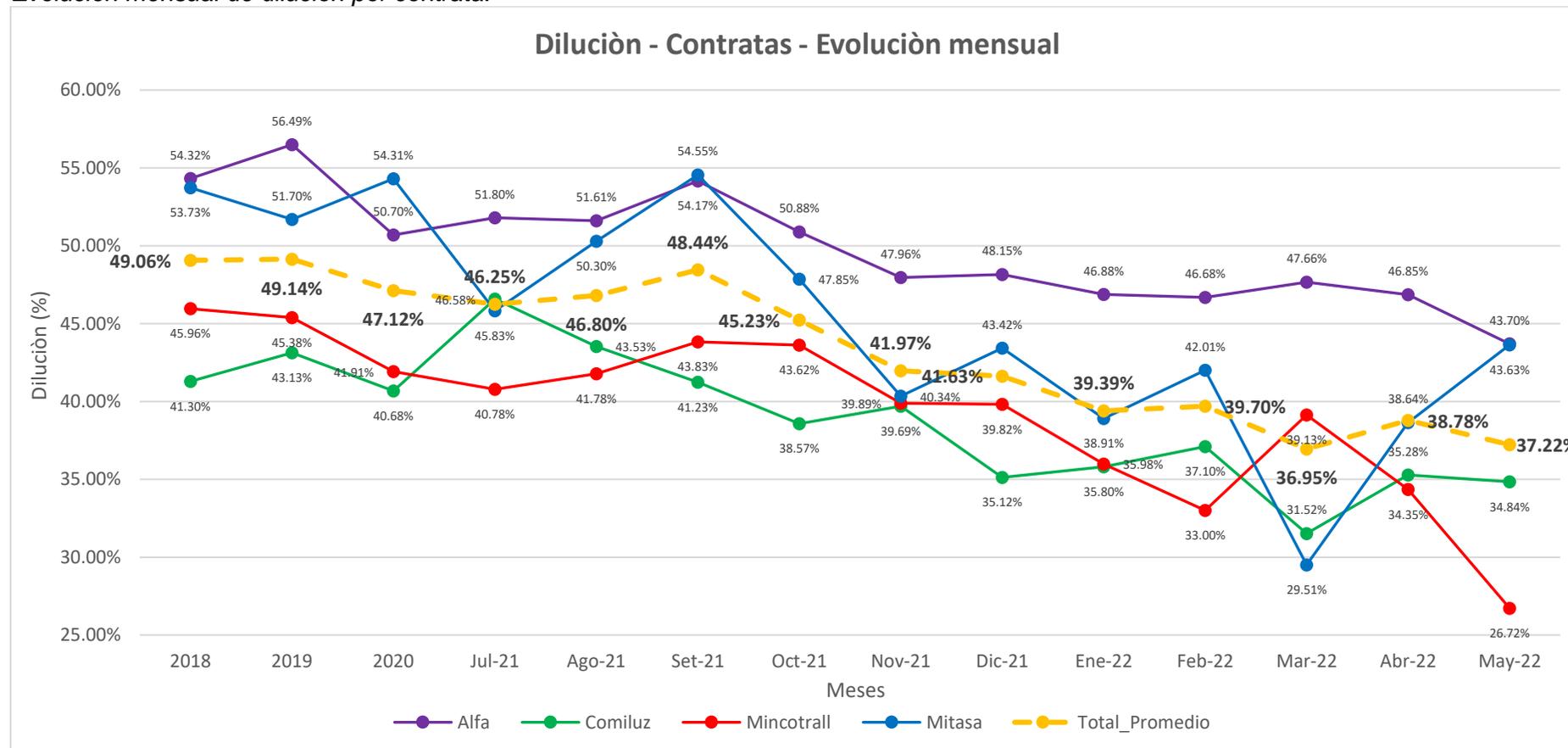
*Evolución mensual de altura de minado por contrata.*



Fuente: Elaboración propia

**Figura 39**

*Evolución mensual de dilución por contrata.*



Fuente: Elaboración propia

#### **4.3 Evolución económica de la disminución de la dilución.**

Producto del control de la altura de minado se disminuye la dilución. Por lo tanto, se revalúan los precios unitarios de explotación de tajos disminuyendo el costo de explotación. Al disminuir el volumen de mineral explotado de los tajos para un mismo cumplimiento de finos por el incremento de la ley de mineral se disminuye su costo de extracción y traslado.

#### **Evolución mensual de costos de explotación de mineral (Julio 2021 - Junio 2022)**

Se realiza un análisis comparativo del costo de explotación de mineral de tajos considerando las condiciones iniciales de uso de dinamita frente al uso de emulsión esto como parte de un rediseño de la malla de perforación y voladura. Los precios unitarios de las condiciones iniciales (dinamita) y modificada (emulsión) se valorizan en función a los metros cúbicos de mineral explotado de los tajos evaluándose en el periodo julio 2021 a junio 2022.

**Tabla 42**

*Evolución mensual de costos de explotación de mineral – 2021*

Tipo	Método	Limpieza	Año 2021						Total (2021)
			Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Producción Mensual de tajos	TC (Tajo cámara)	M	-	125.72	36.43	-	-	80.44	242.59
		W	536.33	662.92	720.83	542.28	585.05	586.05	3,633.46
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	243.63	207.02	279.00	167.07	78.21	65.89	1,040.82
		P	-	41.09	-	-	-	-	41.09
	TL (Tajo Long Wall)	W	2,234.33	2,324.00	2,253.28	2,115.52	2,294.65	2,859.98	14,081.76
		M	-	103.08	75.76	-	-	-	178.84
	TR (Recuperación de puentes)	W	546.59	651.99	550.26	1,056.65	467.96	946.86	4,220.31
		M	159.34	42.01	117.54	-	100.11	131.32	550.32
	TR (Recuperación de puentes)	W	246.52	237.05	283.89	320.39	322.07	359.25	1,769.17
		W	246.52	237.05	283.89	320.39	322.07	359.25	1,769.17
<b>Volumen_Inicial</b>		<b>M3</b>	<b>3,966.74</b>	<b>4,394.88</b>	<b>4,316.99</b>	<b>4,201.91</b>	<b>3,848.05</b>	<b>5,029.79</b>	<b>25,758.36</b>
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	M	-	25,865.63	7,515.51	-	-	16,773.35	50,154.49
		W	78,411.45	98,158.56	107,079.30	80,848.53	87,886.21	88,300.15	540,684.20
	TE (Corte y relleno accedente)	M	55,274.77	47,407.58	64,016.55	38,421.09	18,083.72	15,260.12	238,463.83
		P	-	6,644.66	-	-	-	-	6,644.66
	TL (Tajo Long Wall)	W	357,626.86	375,814.04	365,211.62	343,835.47	375,703.04	469,351.32	2,287,542.35
		M	-	23,085.80	16,997.51	-	-	-	40,083.31
	TR (Recuperación de puentes)	W	84,803.44	102,108.15	86,352.30	166,211.05	74,162.30	150,342.43	663,979.67
		M	42,414.71	11,264.98	31,561.84	-	27,050.72	35,514.18	147,806.44
	TR (Recuperación de puentes)	W	47,713.95	46,229.49	55,438.04	62,668.28	63,399.48	70,800.99	346,250.23
		W	47,713.95	46,229.49	55,438.04	62,668.28	63,399.48	70,800.99	346,250.23
<b>Valorización_Inicial</b>		<b>S/.</b>	<b>666,245.18</b>	<b>736,578.90</b>	<b>734,172.67</b>	<b>691,984.41</b>	<b>646,285.48</b>	<b>846,342.55</b>	<b>4,321,609.19</b>
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	M	-	23,576.19	6,845.45	-	-	15,242.45	45,664.09
		W	70,705.78	88,373.82	96,311.53	72,619.11	78,908.32	79,172.22	486,090.79
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	49,944.25	42,800.81	57,769.14	34,644.78	16,301.71	13,746.07	215,206.75
		P	-	5,949.78	-	-	-	-	5,949.78
	TL (Tajo Long Wall)	W	320,560.81	336,512.44	326,783.94	307,319.70	335,690.98	418,919.79	2,045,787.66
		M	-	20,994.60	15,451.30	-	-	-	36,445.90
	TR (Recuperación de puentes)	W	76,796.13	92,402.97	78,092.16	150,186.24	66,985.84	135,693.00	600,156.34
		M	38,301.53	10,170.00	28,486.84	-	24,406.66	32,035.25	133,400.28
	TR (Recuperación de puentes)	W	43,017.85	41,666.52	50,012.29	56,797.67	57,142.70	65,822.27	314,459.31
		W	43,017.85	41,666.52	50,012.29	56,797.67	57,142.70	65,822.27	314,459.31
<b>Valorización_Modificada</b>		<b>S/.</b>	<b>599,326.35</b>	<b>662,447.15</b>	<b>659,752.65</b>	<b>621,567.50</b>	<b>579,436.19</b>	<b>760,631.06</b>	<b>3,883,160.90</b>
<b>Δ Valorización (Inicial/Modificada)</b>		<b>S/.</b>	<b>66,918.83</b>	<b>74,131.76</b>	<b>74,420.02</b>	<b>70,416.91</b>	<b>66,849.28</b>	<b>85,711.49</b>	<b>438,448.28</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 43**

*Evolución mensual de costos de explotación de mineral – 2022*

Tipo	Método	Limpieza	Año 2022						Total (2022)
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
Producción Mensual de tajos	TC (Tajo cámara)	M	36.36	82.87	102.25	42.65	78.27	87.09	429.49
		W	358.05	267.60	503.57	451.95	316.81	638.48	2,536.46
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	184.67	160.36	86.96	159.41	245.56	256.78	1,093.74
		P	-	-	-	-	-	-	-
	TL (Tajo Long Wall)	W	2,023.20	2,223.77	2,114.93	1,759.95	2,145.13	2,383.88	12,650.86
		M	-	-	-	-	-	-	-
	TR (Recuperación de puentes)	W	630.18	558.53	513.21	567.91	493.68	670.23	3,433.74
		M	163.75	44.89	75.46	34.08	101.38	57.17	476.73
		W	368.17	503.88	415.59	279.03	470.13	348.97	2,385.77
		<b>Volumen Inicial</b>	<b>M3</b>	<b>3,764.38</b>	<b>3,841.90</b>	<b>3,811.97</b>	<b>3,294.98</b>	<b>3,850.96</b>	<b>4,442.60</b>
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	M	7,794.86	17,728.38	21,860.03	9,091.70	16,669.16	18,534.49	91,678.62
		W	55,315.14	41,213.08	77,449.07	69,234.22	48,481.43	97,610.82	389,303.76
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	44,056.72	38,212.18	20,716.48	37,898.13	58,318.04	60,957.00	260,158.57
		P	-	-	-	-	-	-	-
	TL (Tajo Long Wall)	W	341,313.84	374,460.63	355,815.82	295,249.21	360,881.35	399,204.54	2,126,925.40
		M	-	-	-	-	-	-	-
	TR (Recuperación de puentes)	W	102,977.71	91,152.10	83,699.42	92,398.96	80,223.00	08,865.46	559,316.64
		M	45,755.03	12,542.27	21,088.81	9,515.14	28,279.95	15,945.86	133,127.04
		W	74,911.55	102,489.19	84,526.85	56,682.15	95,403.48	70,809.50	484,822.73
		<b>Valorización Inicial</b>	<b>S/.</b>	<b>672,124.85</b>	<b>677,797.82</b>	<b>65,156.47</b>	<b>570,069.51</b>	<b>688,256.42</b>	<b>771,927.68</b>
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	M	7,090.04	16,131.79	19,896.45	8,279.22	15,179.56	16,879.13	83,456.19
		W	49,655.54	37,015.82	69,586.65	62,244.15	43,588.04	87,767.16	349,857.37
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	39,707.68	34,449.80	18,678.79	34,181.90	52,598.24	54,980.96	234,597.36
		P	-	-	-	-	-	-	-
	TL (Tajo Long Wall)	W	304,866.48	334,584.44	318,002.41	263,987.21	321,366.57	356,948.96	1,899,756.07
		M	-	-	-	-	-	-	-
	TR (Recuperación de puentes)	W	92,985.92	82,319.60	75,602.69	83,486.43	72,484.17	98,367.96	505,246.78
		M	41,279.70	11,315.95	19,028.13	8,586.27	25,519.09	14,389.58	120,118.72
		W	67,456.61	92,298.48	76,129.31	51,054.98	85,937.27	63,784.10	436,660.76
		<b>Valorización Modificada</b>	<b>S/.</b>	<b>603,041.96</b>	<b>608,115.87</b>	<b>96,924.43</b>	<b>511,820.17</b>	<b>616,672.95</b>	<b>693,117.87</b>
<b>Δ Valorización (Inicial/Modificada)</b>		<b>S/.</b>	<b>69,082.89</b>	<b>69,681.96</b>	<b>68,232.04</b>	<b>58,249.35</b>	<b>71,583.47</b>	<b>78,809.81</b>	<b>415,639.52</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44***Evolución de costos de explotación de mineral – resumen*

Tipo	Método	Limpieza	Total (2021)	Total (2022)	Total	
Producción Mensual de tajos	TC (Tajo cámara)	M	242.59	429.49	672.08	
		W	3,633.46	2,536.46	6,169.92	
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	1,040.82	1,093.74	2,134.56	
		P	41.09	-	41.09	
	TL (Tajo Long Wall)	W	14,081.76	12,650.86	26,732.62	
		M	178.84	-	178.84	
	TR (Recuperación de puentes)	W	4,220.31	3,433.74	7,654.05	
		M	550.32	476.73	1,027.05	
		W	1,769.17	2,385.77	4,154.94	
		<b>Volumen_Inicial</b>	<b>M3</b>	<b>25,758.36</b>	<b>23,006.79</b>	<b>48,765.15</b>
	Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	M	50,154.49	91,678.62	141,833.11
			W	540,684.20	389,303.76	929,987.96
TE (Corte y relleno ascendente)		M	238,463.83	260,158.57	498,622.40	
		P	6,644.66	-	6,644.66	
TL (Tajo Long Wall)		W	2,287,542.3	2,126,925.4	4,414,467.7	
		M	40,083.31	-	40,083.31	
TR (Recuperación de puentes)		W	663,979.67	559,316.64	1,223,296.3	
		M	147,806.44	133,127.04	280,933.48	
		W	346,250.23	484,822.73	831,072.96	
		<b>Valorización_Inicial</b>	<b>S/.</b>	<b>4,321,609.1</b>	<b>4,045,332.7</b>	<b>8,366,941.9</b>
Modificada Emulsión		TC (Tajo cámara)	M	45,664.09	83,456.19	129,120.28
			W	486,090.79	349,857.37	835,948.15
	TE (Corte y relleno ascendente)	M	215,206.75	234,597.36	449,804.11	
		P	5,949.78	-	5,949.78	
	TL (Tajo Long Wall)	W	2,045,787.6	1,899,756.0	3,945,543.7	
		M	36,445.90	-	36,445.90	
	TR (Recuperación de puentes)	W	600,156.34	505,246.78	1,105,403.1	
		M	133,400.28	120,118.72	253,519.00	
		W	314,459.31	436,660.76	751,120.06	
		<b>Valorización_Modificada</b>	<b>S/.</b>	<b>3,883,160.9</b>	<b>3,629,693.25</b>	<b>7,512,854.15</b>
	<b>Δ Valorización (Inicial/Modificada)</b>		<b>S/.</b>	<b>438,448.28</b>	<b>415,639.52</b>	<b>854,087.80</b>

Fuente: Elaboración propia

**Evolución mensual de leyes y finos de mineral (Julio 2021 - Junio 2022)**

Se realiza un análisis comparativo del tonelaje y ley de mineral por método de explotación resultante del minado usando las condiciones iniciales (dinamita) y modificada (emulsión), considerando en ambos casos la misma recuperación de finos. Producto del menor tonelaje explotado con el uso de emulsión se reduce el costo de extracción y traslado de mineral el cual se evalúa en el periodo julio 2021 a junio 2022.

**Tabla 45**

*Evolución mensual de leyes y finos de mineral – 2021*

Tipo	Método	Und.	Año 2021						Total (2021)
			Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	gr/tms	12.39	8.79	7.71	12.60	15.21	13.70	11.73
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	20.98	17.13	14.79	24.41	17.50	12.10	17.82
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	19.95	14.89	10.75	19.68	22.50	18.24	17.67
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	12.01	12.55	18.17	17.86	23.04	23.62	17.88
	Ley_Inicial	gr/tms	18.79	15.00	13.19	21.41	18.29	14.89	16.93
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	gr/tms	12.88	9.41	8.53	12.83	15.56	14.17	12.23
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	23.13	18.80	16.98	27.34	18.78	13.04	19.68
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	22.36	16.13	11.36	20.47	23.60	19.00	18.82
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	14.11	13.44	20.97	20.58	23.98	24.40	19.58
	Ley_Modificado	gr/tms	20.73	16.31	14.86	23.35	19.36	15.77	18.40
<b>Producción de finos de Au</b>		<b>Kgs</b>	<b>201.34</b>	<b>186.45</b>	<b>151.31</b>	<b>246.90</b>	<b>189.28</b>	<b>217.19</b>	<b>1,192.46</b>
Tonelaje_Inicial_Dinamita		TN	11,346.39	13,160.49	12,144.59	12,211.58	10,956.84	15,444.00	75,263.88
Tonelaje_Modificado_Emulsión		TN	10,284.02	12,103.28	10,781.69	11,198.04	10,354.15	14,582.41	69,303.59
Δ TN (Inicial_Dinamita/Modificado_Emulsión)		TN	1,062.37	1,057.22	1,362.90	1,013.53	602.69	861.59	5,960.30
Precio_Servicio de extracción de mineral		S/TN	5.72	5.72	5.72	5.72	5.74	5.74	5.73
Precio_Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35
<b>Servicio de extracción de mineral</b>									
Inicial_Dinamita		S/.	64,853.20	75,289.99	69,479.95	69,900.17	62,837.45	88,592.38	430,953.16
Modificado_Emulsión		S/.	58,780.96	69,241.76	61,682.71	64,098.61	59,381.03	83,650.00	396,835.07
Δ Extracción (Dinamita/Emulsión)			6,072.25	6,048.24	7,797.24	5,801.57	3,456.42	4,942.38	34,118.09
<b>Servicio de traslado de mineral</b>									
Inicial_Dinamita		S/.	230,898.99	267,816.07	247,142.46	248,505.58	222,971.60	314,285.34	1,531,620.05
Modificado_Emulsión		S/.	209,279.78	246,301.72	219,407.43	227,880.14	210,706.89	296,752.03	1,410,327.99
Δ Traslado (Dinamita/Emulsión)			21,619.22	21,514.35	27,735.04	20,625.44	12,264.71	17,533.31	121,292.06
<b>Δ Valorización (Extracción y Traslado)</b>		<b>S/.</b>	<b>27,691.46</b>	<b>27,562.59</b>	<b>35,532.27</b>	<b>26,427.00</b>	<b>15,721.13</b>	<b>22,475.69</b>	<b>155,410.14</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 46**

*Evolución mensual de leyes y finos de mineral – 2022*

Tipo	Método	Und.	Año 2022						Total (2022)
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	gr/tms	14.46	9.50	18.55	16.25	11.40	12.82	13.83
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	20.71	19.10	19.45	20.95	19.22	14.86	19.05
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	14.80	15.05	20.25	12.43	17.50	19.75	16.63
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	13.09	13.17	17.83	29.18	14.86	11.16	16.55
	Ley_Inicial	gr/tms	19.10	16.70	19.19	19.44	17.39	14.84	17.78
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	gr/tms	14.55	10.93	19.82	18.37	13.84	13.31	15.13
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	21.82	20.14	21.56	23.69	20.21	16.47	20.65
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	16.67	17.93	22.73	14.06	19.49	21.89	18.79
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	13.74	13.63	18.11	29.94	17.53	14.40	17.89
	Ley_Modificado	gr/tms	20.21	18.15	21.04	21.83	18.93	16.43	19.43
<b>Producción de finos de Au</b>		<b>Kgs</b>	<b>242.10</b>	<b>180.29</b>	<b>213.37</b>	<b>184.92</b>	<b>189.14</b>	<b>192.05</b>	<b>1,201.88</b>
Tonelaje_Inicial_Dinamita		TN	13,424.00	11,436.10	11,774.40	10,074.40	11,517.35	13,706.20	71,932.45
Tonelaje_Modificado_Emulsión		TN	12,685.28	10,518.67	10,738.49	8,970.19	10,578.65	12,376.59	65,867.86
Δ TN (Inicial_Dinamita/Modificado_Emulsión)		TN	738.72	917.43	1,035.91	1,104.21	938.70	1,329.61	6,064.59
Precio_Servicio de extracción de mineral		S/TN	6.21	6.21	6.22	6.21	6.21	6.21	6.21
Precio_Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35	20.35
<b>Servicio de extracción de mineral</b>									
Inicial_Dinamita		S/.	83,371.18	71,063.23	73,177.90	62,584.92	71,512.27	85,119.66	446,829.15
Modificado_Emulsión		S/.	78,783.28	65,362.37	66,739.71	55,725.26	65,683.78	76,862.35	409,156.75
Δ Extracción (Dinamita/Emulsión)			4,587.90	5,700.86	6,438.19	6,859.66	5,828.49	8,257.30	37,672.40
<b>Servicio de traslado de mineral</b>									
Inicial_Dinamita		S/.	273,178.40	232,724.64	239,609.04	205,014.04	234,378.07	278,921.17	1,463,825.36
Modificado_Emulsión		S/.	258,145.46	214,054.91	218,528.24	182,543.36	215,275.46	251,863.53	1,340,410.96
Δ Traslado (Dinamita/Emulsión)			15,032.94	18,669.73	21,080.80	22,470.68	19,102.61	27,057.64	123,414.40
<b>Δ valorización (Extracción y Traslado)</b>		<b>S/.</b>	<b>19,620.84</b>	<b>24,370.59</b>	<b>27,518.99</b>	<b>29,330.34</b>	<b>24,931.10</b>	<b>35,314.94</b>	<b>161,086.80</b>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 47**

*Evolución de leyes y finos de mineral – resumen*

Tipo	Método	Und.	Total (2021)	Total (2022)	Total
Inicial Dinamita	TC (Tajo cámara)	gr/tms	11.73	13.83	12.78
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	17.82	19.05	18.43
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	17.67	16.63	17.15
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	17.88	16.55	17.21
	Ley_Inicial	gr/tms	16.93	17.78	17.35
Modificada Emulsión	TC (Tajo cámara)	gr/tms	12.23	15.13	13.68
	TE (Corte y relleno ascendente)	gr/tms	19.68	20.65	20.17
	TL (Tajo Long Wall)	gr/tms	18.82	18.79	18.81
	TR (Recuperación de puentes)	gr/tms	19.58	17.89	18.74
	Ley_Modificado	gr/tms	18.40	19.43	18.92
<b>Producción de finos de Au</b>		<b>Kgs</b>	<b>1,192.46</b>	<b>1,201.88</b>	<b>2,394.34</b>
Tonelaje_Inicial_Dinamita		TN	75,263.88	71,932.45	147,196.33
Tonelaje_Modificado_Emulsión		TN	69,303.59	65,867.86	135,171.45
$\Delta$ TN (Inicial_Dinamita/Modificado_Emulsión)		TN	5,960.30	6,064.59	12,024.89
Precio_Servicio de extracción de mineral		S/TN	5.73	6.21	5.97
Precio_Servicio de traslado de mineral		S/TN	20.35	20.35	20.35
<b>Servicio de extracción de mineral</b>					
Inicial_Dinamita		S/.	430,953.16	446,829.15	877,782.31
Modificado_Emulsión		S/.	396,835.07	409,156.75	805,991.82
$\Delta$ Extracción (Dinamita/Emulsión)			34,118.09	37,672.40	71,790.49
<b>Servicio de traslado de mineral</b>					
Inicial_Dinamita		S/.	1,531,620.05	1,463,825.36	2,995,445.41
Modificado_Emulsión		S/.	1,410,327.99	1,340,410.96	2,750,738.95
$\Delta$ Traslado (Dinamita/Emulsión)			121,292.06	123,414.40	244,706.46
<b><math>\Delta</math> valorización (Extracción y Traslado)</b>		<b>S/.</b>	<b>155,410.14</b>	<b>161,086.80</b>	<b>316,496.95</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Validación de hipótesis.

La validación de hipótesis general y específicas son abordadas por la herramienta estadística de “Prueba de hipótesis para dos medias varianzas desconocidas pero iguales”. Los datos de dilución, altura de minado y costos de explotación son extraídos del “Reporte mensual de lineales y tajos” del are de ingeniería de Marsa. Para la realización de la prueba de hipótesis se analizaron dos escenarios uno con dinamita y el otro con emulsión.

**Figura 40**

*Prueba de hipótesis para dos medias varianzas desconocidas*

PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA DOS MEDIAS VARIANZAS DESCONOCIDAS PERO IGUALES (MUESTRAS PEQUEÑAS)		
Estadístico de prueba:		
$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$	$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2}}$	
Regla de decisión:		
<b>Prueba Bilateral</b> $H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ Se rechaza $H_0$ si $ t  > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$	<b>Prueba Unilateral</b> $H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 < \mu_2$ Se rechaza $H_0$ si $t < -t_{\alpha, n_1+n_2-2}$	<b>Prueba Unilateral</b> $H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 > \mu_2$ Se rechaza $H_0$ si $t > t_{\alpha, n_1+n_2-2}$

Fuente: Manuel Córdova Zamora (2009). Estadística descriptiva e inferencial.

#### Validación de hipótesis general

Para la validación de la hipótesis de disminución de la dilución, se analizan dos escenarios, el primero utilizando una malla de perforación y voladura con dinamita de julio a diciembre 2021 y el segundo con emulsión de enero a junio 2022.

**Tabla 48**

*Evolución mensual del porcentaje de dilución.*

Explosivos	Porcentaje de dilución (%)						Indicadores	
	Meses						Media	Desviación
2021	07	08	09	10	11	12		
2022	01	02	03	04	05	06		
Dinamita	46.80	45.40	47.30	44.60	41.50	40.60	44.37	2.76
Emulsión	39.70	39.60	37.90	38.70	37.90	37.00	38.47	1.06

Fuente: Elaboración propia

**Paso 1** (Establecer la hipótesis)

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$   $\mu_1$  (Media poblacional de la dilución usando dinamita)

H1:  $\mu_1 > \mu_2$   $\mu_2$  (Media poblacional de la dilución usando emulsión)

**Paso 2** (Nivel de significancia)

$\alpha_1$ : 5%  $t(\alpha, n_1+n_2-2) = t(0.05, 10) = 1.812$

$n_1$ : 6

$n_2$ : 6

**Paso 3** (Estadístico de prueba)

$S_p$ : 2.09

t: 4.89

**Paso 4** (Regla de decisión)

Se rechaza Ho si  $t > t(\alpha, n_1+n_2-2)$

$4.89 > 1.812$

**Paso 5** (Interpretación)

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$  (Rechazado)

H1:  $\mu_1 > \mu_2$  **(Aceptado)**

Al nivel de significancia 5% se cumplió la regla de decisión, entonces rechazamos Ho, es decir, aceptamos H1. Por lo que se tiene evidencia estadística que confirma el hecho que el porcentaje de dilución usando dinamita está por encima del porcentaje de dilución usando emulsión.

**Validación de hipótesis específica 1**

Para la validación de la hipótesis de disminución de la altura de minado, se analizan dos escenarios, el primero utilizando una malla de perforación y voladura con dinamita de julio a diciembre 2021 y el segundo con emulsión de enero a junio 2022.

**Tabla 49***Evolución mensual de la altura de minado.*

Altura de minado (m)								
Explosivos		Meses					Indicadores	
2021	07	08	09	10	11	12	Media	Desviación
2022	01	02	03	04	05	06		
Dinamita	1.45	1.42	1.49	1.43	1.34	1.32	1.41	0.07
Emulsión	1.30	1.12	1.07	1.13	1.26	1.20	1.18	0.09

Fuente: Elaboración propia

**Paso 1** (Establecer la hipótesis)Ho:  $\mu_1 = \mu_2$   $\mu_1$  (Media poblacional de la altura de minado con dinamita)H1:  $\mu_1 > \mu_2$   $\mu_2$  (Media poblacional de la altura de minado con emulsión)**Paso 2** (Nivel de significancia) $\alpha_1$ : 5%  $t(\alpha, n_1+n_2-2) = t(0.05, 10) = 1.812$  $n_1$ : 6 $n_2$ : 6**Paso 3** (Estadístico de prueba) $S_p$ : 0.08

t: 5.07

**Paso 4** (Regla de decisión)Se rechaza Ho si  $t > t(\alpha, n_1+n_2-2)$ 

5.07 &gt; 1.812

**Paso 5** (Interpretación)Ho:  $\mu_1 = \mu_2$  (Rechazado)H1:  $\mu_1 > \mu_2$  **(Aceptado)**

Al nivel de significancia 5% se cumplió la regla de decisión, entonces rechazamos Ho, es decir, aceptamos H1. Por lo que se tiene evidencia estadística que confirma el hecho que la altura de minado usando dinamita está por encima de la altura de minado usando emulsión.

## **Validación de hipótesis específica 2**

Para la validación de la hipótesis de disminución del costo de explotación de tajos, se analizan dos escenarios, el primero utilizando una malla de perforación y voladura con dinamita y el segundo con emulsión ambos de julio 2021 a junio 2022.

**Tabla 50***Evolución mensual del costo de explotación y transporte de mineral.*

Costo de explotación y transporte de mineral (S/.)								
Explosivos		Meses					Indicadores	
2021	07	08	09	10	11	12	Media	Desviación
2022	01	02	03	04	05	06		
Dinamita	961,997.38	1,079,684.97	1,050,795.09	1,010,390.16	932,094.53	1,249,220.27	1,020,014.14	103,974.70
	1,028,674.43	981,585.69	977,943.41	837,668.47	994,146.77	1,135,968.51		
Emulsión	867,387.09	977,990.62	940,842.79	913,546.25	849,524.12	1,141,033.10	922,465.41	96,757.09
	939,970.70	887,533.14	882,192.38	750,088.79	897,632.20	1,021,843.75		

Fuente: Elaboración propia

**Paso 1** (Establecer la hipótesis)

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$   $\mu_1$  (Media poblacional del costo de explotación con dinamita)

H1:  $\mu_1 > \mu_2$   $\mu_2$  (Media poblacional del costo de explotación con emulsión)

**Paso 2** (Nivel de significancia)

$\alpha$ : 5%  $t(\alpha, n_1+n_2-2) = t(0.05, 22) = 1.717$

$n_1$ : 12

$n_2$ : 12

**Paso 3** (Estadístico de prueba)

$S_p$ : 100,430.75

t: 2.38

**Paso 4** (Regla de decisión)

Se rechaza Ho si  $t > t(\alpha, n_1+n_2-2)$

$2.38 > 1.717$

**Paso 5** (Interpretación)

Ho:  $\mu_1 = \mu_2$  (Rechazado)

H1:  $\mu_1 > \mu_2$  **(Aceptado)**

Al nivel de significancia 5% se cumplió la regla de decisión, entonces rechazamos Ho, es decir, aceptamos H1. Por lo que se tiene evidencia estadística que confirma el hecho que el costo de explotación y transporte de mineral usando dinamita está por encima del costo de explotación y transporte de mineral usando emulsión.

## Conclusiones

Se concluye que el rediseño de la malla de perforación y voladura a través de migrar de la dinamita a la emulsión, reducción del número de taladros, aumento de la eficiencia de perforación y voladura, cambio de la geometría de la malla y la selección de explosivos de bajo nivel energético en los taladros de contorno como se muestra en las tablas 25, 28, 31 y 34. Se sustenta positivamente la hipótesis de reducción del porcentaje de dilución por este rediseño como se observa en la evolución mensual de este parámetro en la tabla 19.

Se concluye que el rediseño de la malla de perforación y voladura permite sustentar positivamente la hipótesis de reducción de la altura de minado a niveles programado en el diseño como se observa en la evolución mensual de este parámetro en la tabla 16.

Se concluye que el rediseño de la malla de perforación y voladura permite sustentar positivamente la hipótesis de reducción del costo de explotación por el replanteo del precio unitario de explotación de tajos, que se basa en la reducción de taladros reduciendo el costo de pies perforados y carga explosiva, aumento de la eficiencia de metros por disparo y disminución de la altura de minado por el control de la altura de minado de diseño dando como resultado el incremento de metros cúbicos por disparo sumado al cambio de dinamita a emulsión reduciendo el costo de explosivos esto es descrito en la Figura 27 y Figura 28.

Se concluye que el rediseño de la malla de perforación y voladura reduce la dilución minera en 11.36% y altura de minado en 9.93% comparando estadísticamente la evolución mensual de estos parámetros operativos por cada método de explotación en las tablas 19 y 16 respectivamente durante el periodo julio a diciembre 2021 contra enero a junio 2022.

Se observa que producto del rediseño de la malla de perforación y voladura se reduce teóricamente el factor de potencia para cada método de explotación. Para TE, TR, TC, TL en 34.61%, 0%, 14.75% y 19.51% respectivamente, promediando una reducción del 17.22% como se muestra en las tablas 26, 29, 32 y 35.

De las pruebas de campo se observa que al ejecutar el rediseño de la malla de perforación y voladura para cada método de explotación se reduce en promedio 20.80% y

13.81% la dilución y altura de minado respectivamente, mostrándose aquello en las tablas 10, 11, 12 y 13.

Se concluye por medio de un análisis de regresión lineal para datos de dilución y altura de minado analizados por método de explotación y en periodo mensual de julio 2021 a junio 2022 en la Figura 29, una relación fuerte con un coeficiente de determinación de 98.79%.

Se observa que al replantear el precio unitario por método de explotación de tajos durante el periodo mensual de julio 2021 a junio 2022 como se muestra en la tabla 37 y 38 se reduce el precio unitario en  $19.38 \text{ S/m}^3$ , representando una reducción del 10%.

Se concluye que el replanteo del precio unitario implica una reducción promedio mensual del costo de explotación de tajos de 71,173.98 Soles y un ahorro anual de 854,087.80 Soles durante el periodo julio 2021 a junio 2022, como muestra las tablas 42, 43 y 44.

Producto de la reducción de la altura de minado en tajos se reduce el promedio mensual de mineral explotado en 1,002.07 TN y anual de 12,024.89 TN, mostrado en las tablas 45 y 46. La ley de mineral de cabeza aumenta en promedio anual de 1.56 Gr/TN representando un aumento del 8% en la tabla 47.

Se concluye que la reducción de toneladas explotadas de mineral implica una reducción promedio mensual del costo de extracción con locomotora de 5,982.54 Soles y traslado con volquetes de 20,392.20 Soles, mostrado en las tablas 45 y 46. Reduciendo el transporte de mineral en 26,374.75 Soles al mes. La reducción anual de transporte de mineral se calcula en 316,496.95 Soles en la tabla 47.

Se concluye que el rediseño de la malla de perforación y voladura disminuye las toneladas extraídas de mineral y aumenta su ley de cabeza por lo cual la recuperación de finos de oro se mantiene, pero a un menor costo de explotación y transporte. La reducción promedio mensual del costo de explotación y transporte de mineral es de 97,753.73 Soles y anual de 1,170,584.75 Soles, mostrados en las tablas 44 y 47.

## Recomendaciones

Se recomienda analizar como el control de la altura de minado en tajos según diseño de mina por el uso de emulsión, reduce el costo de sostenimiento con madera y reduce el costo de relleno hidráulico por menor área abierta.

Evaluar si el control del planeamiento de minado para tajos respecto a altura de minado y dilución impacta en el incremento de reservas de mineral y disminución de la ley de corte.

Se recomienda evaluar la reducción en la cantidad de servicios o tareas brindados por las empresas contratistas respecto a la selectividad de mineral en tajos como rumas o barrido de finos. Producto de un mejor control del planeamiento en el minado de tajos.

Se plantea el rediseño de la malla de perforación y voladura usando emulsiones a labores lineales con aporte de mineral como Galerías, Subniveles y Chimeneas inclinadas.

Se recomienda evaluar el impacto del incremento de la ley de cabeza de mineral en la recuperación metalúrgica y el consumo de insumos en la planta de beneficio.

Se recomienda realizar controles de perforación y voladura en cada guardia para verificar la eficiencia de los trabajos y aprovechar al máximo los beneficios del nuevo explosivo implementado en la operación.

## Referencias bibliográficas

- Bedón, M. (2019). Mejoramiento del proceso de minado para el control de dilución y leyes de mineral en la concesión minera El Extraño - consorcio peruano de minas S.A.C. - 2019. Áncash, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Cahuata, M. (2021). Optimización de la voladura con el uso de emulsión bombeable en minería subterránea y tonelería. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Coronel, C. (2019). Optimización de los procesos de perforación y voladura de rocas en el frente de explotación "Nivel H" de la mina Agua Dulce, Portovelo - El Oro. Ecuador: Universidad del Azuay.
- Fuentes, N., & Gargate, J. (2021). Aplicación de los criterios fundamentales de la ingeniería de voladura para controlar la dilución en la explotación de vetas angostas en la Mina Sayapullo S.A. Lima, Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Famesa. (s/f). Fichas técnicas de los explosivos Emulnor - Famecorte. Lima, Perú: Famesa Explosivos S.A.C.
- PhD. Dr. Carlos Agreda Turriarte, Clases de Perforación y Voladura, FIGMM - UNI.

## **Anexos**

	Pág.
Anexo N.º 1: Informe de control de calidad – FAMESA.....	1

## Anexo N.º 1: Informe de control de calidad – FAMESA



**Para:** ING. FRANCISCO PEREZ  
**De:** ING. MARCELO BERNAL  
**ASUNTO:** VISITA TÉCNICA MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A.  
**FECHA:** 18 / 02 / 2022

---

### 1. INTRODUCCIÓN:

Debido a la solicitud de nuestro cliente en realizar pruebas en mina, Famesa Explosivos decide enviar a personal de Control de Calidad a minera MARSa a verificar las características técnicas del producto EMULNOR.

### 2. OJETIVOS:

- Realizar la prueba de Densidad Relativa al EMULNOR según el Método de Inmersión.
- Realizar la prueba de VOD al EMULNOR según la norma NTP 311.371-1.
- Realizar la prueba de Sensibilidad al EMULNOR según la norma NTP 311.371-2.
- Realizar la prueba de Hess al EMULNOR según la norma NTP 311.193.
- Realizar la prueba de Transmisión de Detonación por Simpatía al producto EMULNOR.

### 3. PERSONAL CONTACTADO:

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| 3.1 Ing. Luis Neira         | Jefe de Perforación y Voladura.      |
| 3.2 Ing. Fernando Copaira   | Asistente de Perforación y Voladura. |
| 3.3 Ing. Marcial de la Cruz | Asistencia Técnica Famesa.           |
| 3.4 Ing. Braulio Quintana   | Asistencia Técnica Famesa.           |

#### 4. ACTIVIDADES REALIZADAS:

Para realizar las pruebas mencionadas en los objetivos fue necesario seguir con los procedimientos establecidos por Minera Aurífera Retamas en concordancia con el procedimiento escrito de trabajo seguro PETS-MIN-67 "Voladuras en superficie" en adicional a las normas técnicas peruanas y los estándares ya mencionados.

Se realizó el respectivo muestreo en almacén de Minera Aurífera Retamas, siendo la cantidad de pruebas totales las siguientes:

Descripción	Unid.	Plano	CANTIDAD DE PRUEBAS			
			Densidad	Simpatía	VOD y Sensibilidad	Hess
Emulnor 500 1" x 24"	Pza	22045	-	-	2	-
Emulnor 500 1 1/8" x 12"	Pza	22051	-	-	2	-
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	Pza	21521	2	1	2	3
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	Pza	21454	2	1	2	3
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	Pza	22025	-	-	2	-
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	Pza	22045	2	1	2	3
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	Pza	22045	-	-	2	-
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	Pza	22045	2	1	2	3

Las pruebas se realizaron en la zona "Mush Mush" de minera MARSa los días 11 y 12 del mes de febrero en horarios entre las 14:00 y las 17:00 horas.

#### 4.1. PRUEBAS DE DENSIDAD

Según Método de Ensayo interno de Famesa Explosivos S.A.C. con código ME-LP-033, la prueba consiste en determinar la densidad relativa de los productos encartuchados tales como el EMULNOR en sus diferentes presentaciones.

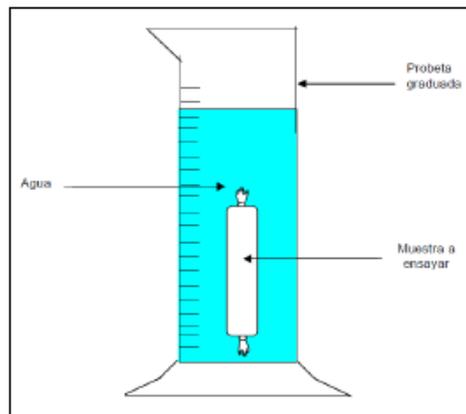


Figura 1: Medición de volumen por desplazamiento para la prueba de densidad.

PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA (g/cm <sup>3</sup> )			
Producto	Resultado	Promedio	Especificación de Ficha Técnica*
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	0,89	0,87	0,90 ± 0,15
	0,85		
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	1,16	1,17	1,13 ± 0,10
	1,18		
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	1,21	1,20	1,14 ± 0,10
	1,19		
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	1,22	1,23	1,16 ± 0,10
	1,23		

\*Los valores expresados en la ficha técnica son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

Luego de realizar la medición de densidad relativa a todas las muestras de Emulnor, se obtienen resultados conformes según la ficha técnica del producto.

#### 4.2. PRUEBAS DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN Y SENSIBILIDAD A LA INICIACIÓN

Según la NTP 311.371-1, la prueba de VOD se basa en determinar la velocidad de detonación de las emulsiones explosivas mediante la detección de la luz que genera la onda de detonación al recorrer la distancia comprendida entre dos puntos.

Según la NTP 311.371-2, la prueba de Sensibilidad se basa en determinar la sensibilidad de la emulsión explosiva a la iniciación de un fulminante o iniciador de alto poder detonante mediante la comprobación de su velocidad de detonación.

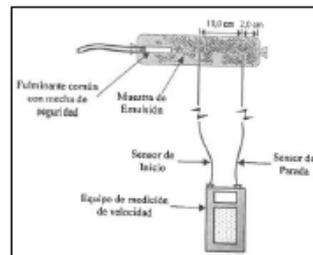


Figura 2: Esquema de medición de VOD.

PRUEBA DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)				
Producto	Resultado	Promedio	Especificación de Ficha Técnica*	
Emulnor 500 1" x 24"	3610	3678	3500 ± 300	
	3745			
Emulnor 500 1 1/8" x 12"	3558	3546		
	3533			
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	3745	3804		
	3862			
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	4424	4455		4500 ± 300
	4485			
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	4484	4525		4400 ± 300
	4566			
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	4651	4558		
	4464			
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	4405	4358	4200 ± 300	
	4310			
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	4494	4474		
	4444			

\*Los valores expresados en la ficha técnica son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

Luego de realizar la medición de VOD a todas las muestras de Emulnor, se obtienen resultados conformes según la ficha técnica del producto.

Todas las muestras detonan completamente, demostrando la sensibilidad del producto al Fulminante N°8.

#### 4.3. PRUEBA DE HESS

Según la NTP 311.193 el método de Hess está basado en realizar la medida del poder rompedor de los explosivos mediante el aplastamiento producido en un cilindro de plomo, por la detonación de una carga explosiva colocada sobre el mismo.

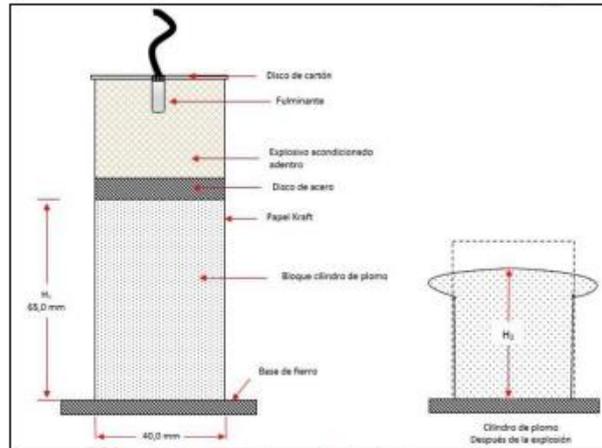


Figura 3: Esquema de medición de Potencia Hess.

PRUEBA DE HESS (mm)		
Producto	Resultado	Promedio
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	15,6	15,70
	15,1	
	16,4	
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	19,1	19,63
	18,6	
	21,2	
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	19,9	20,87
	20,4	
	22,3	
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	18,5	20,89
	21,2	
	23,0	

Analizando los resultados obtenidos, evidenciamos que el Emulnor 500 (15,70 mm) tiene el menor poder rompedor, seguido por el Emulnor 1000 (19,63 mm), Emulnor 3000 (20,87 mm) y Emulnor 5000 (20,89 mm) consecutivamente.

#### 4.4. PRUEBA DE SIMPATÍA DIRECTA

Según Método de Ensayo interno de Famesa Explosivos S.A.C. con código ME-LP-034, la prueba consiste en determinar la transmisión de detonación por simpatía directa a una distancia determinada.

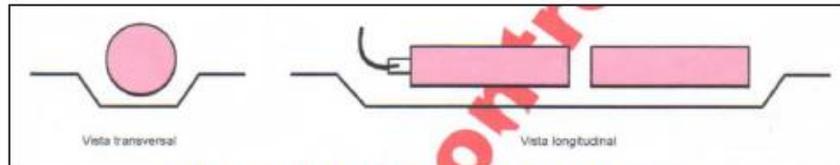


Figura 4: Esquema de medición de Transmisión por Simpatía.

PRUEBA DE SIMPATÍA ( $\phi$ )		
Producto	Resultado	Promedio
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	0,5	0,5
	0,5	
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	1,0	1,0
	1,0	
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	1,0	1,0
	1,0	
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	1,0	1,0
	1,0	

Luego de realizar la medición de Simpatía a todas las muestras de Emulnor, se obtienen resultados de medio diámetro para el Emulnor 500 y un diámetro para Emulnor 1000, Emulnor 3000 y Emulnor 5000.

## 5. OBSERVACIONES:

- 5.1 A solicitud de los señores de Minera MARSÁ se realizaron mediciones de V.O.D. a distintas dimensiones de cartuchos de los diferentes tipos de Emulnor, siendo estos iniciados con Carmex ya que en sus operaciones se realiza de dicha manera.
- 5.2 Todos las pruebas de detonación se iniciaron con Carmex (Fulminante N°8).
- 5.3 Se realizó una charla respecto a los conceptos básicos sobre qué es una emulsión explosiva y los controles realizados en la presente visita técnica.
- 5.4 Se coordinó para una segunda charla respecto a los conceptos básicos de los productos sistemas de iniciación (Carmex y Fanel).

## 6. CONCLUSIONES:

- 6.1. Se realizó la prueba de Densidad al EMULNOR, ver resultados en el apartado 4.1. Los valores obtenidos se encuentran conformes según ficha técnica.
- 6.2. Se realizó la prueba de VOD al EMULNOR, ver resultados en el apartado 4.2. Los valores obtenidos se encuentran conformes según ficha técnica.
- 6.3. Se realizó la prueba de Sensibilidad al EMULNOR. Todos los tipos de Emulnor son sensibles al fulminante N°8.
- 6.4. Se realizó la prueba de Hess al EMULNOR, ver resultados en el apartado 4.3. Se comprueba que las potencias de los tipos de Emulnor presentan el siguiente orden: Emulnor 500 < Emulnor 1000 < Emulnor 3000 < Emulnor 5000.
- 6.5. Se realizaron pruebas de transmisión de detonación por simpatía al producto EMULNOR evidenciando que la simpatía se transmite a 0,5 diámetros de separación para el Emulnor 500 y a 1,0 diámetros de separación para los Emulnores 1000, 3000 y 5000.

## 7. ANEXOS:

**ANEXO N°1: FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.**

**ANEXO N°2: REPORTE DE RESULTADOS ENTREGADOS A MINERA MARSÁ.**

ANEXO N°1: FOTOGRAFÍAS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.

- Pruebas de Densidad



- Pruebas de VOD y Sensibilidad a la Iniciación



- Pruebas de Hess



- Pruebas de Simpatía Directa



ANEXO N°2: REPORTE DE RESULTADOS ENTREGADOS A MINERA MARSA.

REPORTE DE RESULTADOS

Para : Ing. Luis Neira Salas  
Jefe de Perforación y Voladura – Minera Aurífera Retamas S.A.

De : Ing. Marcelo Bernal Celis  
Supervisor de Control de Calidad – Famesa Explosivos S.A.C.

Asunto : Visita Técnica a Minera Aurífera Retamas – Pruebas de Calidad del EMULNOR.

Lugar : Minera MARSA – Zona de disparo "Mush Mush".

Fecha y hora : Los días 11.02.2022 y 12.02.2022 desde las 14:00 hasta las 17:00 horas.

Participantes:

- |                           |   |
|---------------------------|---|
| • Ing. Luis Neira         | Jefe de P&V Marsa                         |
| • Ing. Braulio Quintana   | Asistencia Técnica Famesa                 |
| • Ing. Marcial De la Cruz | Asistencia Técnica Famesa                 |
| • Ing. Marcelo Bernal     | Supervisor Control de Calidad Famesa      |
| • Sr. Martín Nakamatsu    | Jefe de Sección Control de Calidad Famesa |

Firmas



INTRODUCCIÓN:

Mediante la presente reciba nuestros más cordiales saludos y a su vez alcanzarle el informe de los resultados obtenidos en las pruebas técnicas de los productos EMULNOR realizadas los días viernes 11 y sábado 12 de febrero.

Para realiza dichas pruebas se fueron coordinando directamente con su persona para ver el performance y las bondades que nos muestra los explosivos al momento de su uso.

Dentro de las pruebas se trazaron los siguientes **objetivos**:

- Realizar la prueba de Densidad al EMULNOR según el Método de Inmersión para medir densidad relativa.
- Realizar la prueba de VOD al EMULNOR según el "Método de ensayo para determinar la velocidad de detonación" NTP 311.371-1 publicada el 2018.
- Realizar la prueba de Sensibilidad al fulminante Nro 8 al EMULNOR según el "Método de ensayo para determinar la sensibilidad a la iniciación" NTP 311.371-2 publicada el 2018.
- Realizar la prueba de Hess al EMULNOR según el "Método de ensayo para determinar el efecto de rotura. Prueba Hess" NTP 311.193:2016.
- Realizar pruebas de transmisión de detonación por simpatía al producto EMULNOR.

**ACTIVIDADES REALIZADAS:**

Los trabajos se realizaron respetando los procedimientos establecidos por Minera Aurífera Retamas en concordancia con el procedimiento escrito de trabajo seguro PETS-MIN-67 "Voladuras en superficie" en adicional a los estándares ya mencionados.

**EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL:**

EPP generales para trabajos en superficie: Mameluco con cintas reflectivas, protector tipo sombrero o jockey, barbiquejo, lentes de seguridad, respirador, cartuchos para polvo y/o gases, protector auditivo, guantes de nitrilo y guantes anticorte, zapato con punta de acero y chaleco con cintas reflectivas.

**EQUIPOS / HERRAMIENTAS / MATERIALES:**

Lámpara minera, planchas de fierro, bloques de plomo, discos de acero, atacador de madera, papel Kraft, pie de rey, probeta de plástico de 1L, varilla de aluminio, piceta, agua tratada o embotellada, medidor de tiempo (Cronex), fibra óptica, balanza punzón de aluminio, cinta crepé, cuchilla, explosivos y accesorios de voladura, camioneta autorizada para el traslado de explosivos.

**PASO 1:** Se prepararon los materiales, equipos y herramientas necesarias para la realización de las pruebas, el listado es el siguiente:

Descripción	Unidades	Cantidad
Fibra Óptica	m	30
Cuchilla	pza	1
Atacador de madera	pza	1
Plancha de fierro	pza	4
Bloques de plomo	pza	12
Discos de acero	pza	24
Cota crepé de 3/4"	pza	2
Cinta de embalaje	pza	1
Piseta de 500 ml con agua tratada	pza	1
Varilla de aluminio	pza	1
Probeta de 1000ml	pza	1
Medidor de Tiempo (Cronex)	pza	1
Balanza de 3.200 kg de capacidad	pza	1
Pie de rey digital	pza	1

**PASO 2:** Se realizó el muestreo de productos en almacén de Minera Aurífera Retamas, siendo los productos muestreados los siguientes:

Descripción	Unidades	PRUEBAS					TOTAL
		Densidad*	VOD	Sensibilidad**	Hess	Simpatía	
Emulnor 500 1" x 24"	Pza	-	2	2	-	-	2
Emulnor 500 1 1/8" x 12"	Pza	-	2	2	-	-	2
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	Pza	2	2	2	3	2	7
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	Pza	2	2	2	3	2	7
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	Pza	-	2	2	-	-	2
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	Pza	2	2	2	3	2	7
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	Pza	-	2	2	-	-	2
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	Pza	2	2	2	3	2	7
Carmex 2.10 m	Pza	-	16	-	12	8	36
Mecha Rápida Z-18	m	-	10	-	5	5	20

\*Las mismas muestras de la prueba de densidad fueron utilizadas para la prueba de Hess.

\*\*Las mismas muestras de la prueba de sensibilidad fueron utilizadas para la prueba de VOD.

**PASO 3:** Se transportaron los productos a la zona de disparo y se eligió el lugar para realizar las detonaciones considerando una distancia prudente de 300m como mínimo entre la zona de detonación y la zona segura.

**PASO 4:** Se realizaron las pruebas al producto EMULNOR mencionadas líneas arriba. La siguiente tabla presenta las pruebas y sus tiempos de ejecución, para ver el detalle de los resultados obtenidos, ver el ANEXO N°1.

PRUEBAS REALIZADAS (PROMEDIO)						
Producto	Densidad Relativa (g/cm <sup>3</sup> )	Prueba Hess (mm)	Velocidad de Detonación (m/s)		Sensibilidad al fulminante	Transmisión por Simpatía (ø)
Emulnor 500 1" x 24"	0.87	15.70	3678	3676	Sí, al N°8	Sí, al 0.5 ø
Emulnor 500 1 1/8" x 12"			3546			
Emulnor 500 1 1/4" x 12"			3804			
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	1.17	19.63	4455	4455	Sí, al N°8	Sí, al 1.0 ø
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	1.20	20.87	4525	4541	Sí, al N°8	Sí, al 1.0 ø
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"			4558			
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	1.23	20.89	4358	4416	Sí, al N°8	Sí, al 1.0 ø
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"			4474			

**PASO 5:** Se realizó la limpieza del lugar, recojo de materiales y segregación de residuos.

ANEXO N°1: RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Tabla A1: Resultados obtenidos de las pruebas de densidad relativa.

PRUEBA DE DENSIDAD RELATIVA (g/cm <sup>3</sup> )			
Producto	Trazabilidad	Resultado	Especificación de Ficha Técnica*
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	215211084181	0.89	0,90 ± 0,15
	215211066181	0.85	0,90 ± 0,15
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	214541890044	1.16	1,13 ± 0,10
	214540713044	1.18	1,13 ± 0,10
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	220452173852	1.21	1,14 ± 0,10
	220452173852	1.19	1,14 ± 0,10
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	220452376302	1.22	1,16 ± 0,10
	220452376302	1.23	1,16 ± 0,10

\*Los valores expresados en la ficha técnica son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

Tabla A2: Resultados obtenidos de las pruebas de Potencia Hess.

PRUEBA DE HESS (mm)			
Producto	Trazabilidad	Resultado	Requerimiento Según NTP 311.193
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	215211084181	15.6*	16
	215211066181	15.1*	16
	215211084181	16.4	16
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	214541890044	19.1	16
	214540713044	18.6	16
	214541890044	21.2	16
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	220452173852	19.9	16
	220452173852	20.4	16
	220452184852	22.3	16
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	220452376302	18.5	16
	220452376302	21.2	16
	220452322302	23.0	16

\*No cumple la norma técnica por ser un tipo de EMULNOR especial de baja potencia.

Tabla A3: Resultados obtenidos de las pruebas de Velocidad de Detonación.

PRUEBA DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)			
Producto	Trazabilidad	Resultado	Especificación de Ficha Técnica*
Emulnor 500 1" x 24"	220450394311	3610	3500 ± 300
	220450394311	3745	3500 ± 300
Emulnor 500 1 1/8" x 12"	220510704311	3558	3500 ± 300
	220510702311	3533	3500 ± 300
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	215211084181	3745	3500 ± 300
	215211066181	3862	3500 ± 300
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	214541890044	4424	4500 ± 300
	214540713044	4485	4500 ± 300
Emulnor 3000 1 1/8" x 16"	220250272574	4484	4400 ± 300
	220250281574	4566	4400 ± 300
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	220452184852	4651	4400 ± 300
	220452241852	4464	4400 ± 300
Emulnor 5000 1 1/8" x 16"	220451140621	4405	4200 ± 300
	220451138621	4310	4200 ± 300
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	220452322302	4494	4200 ± 300
	220451322803	4444	4200 ± 300

\*Los valores expresados en la ficha técnica son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

\*Velocidad de detonación como cartucho de 1" de diámetro.

Tabla A4: Resultados obtenidos de las pruebas de transmisión por simpatía.

PRUEBA DE SIMPATÍA (ø)		
Producto	Trazabilidad	Resultado
Emulnor 500 1 1/4" x 12"	215211084181	Si, al 0.5 ø
	215211066181	Si, al 0.5 ø
Emulnor 1000 1 1/4" x 16"	214541890044	Si, al 1.0 ø
	214540713044	Si, al 1.0 ø
Emulnor 3000 1 1/4" x 16"	220452184852	Si, al 1.0 ø
	220452241852	Si, al 1.0 ø
Emulnor 5000 1 1/4" x 16"	220452322302	Si, al 1.0 ø
	220451322803	Si, al 1.0 ø