



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



# CONSTANCIA

N° 088-DI-FIMM-2025

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **TESIS** cuyo título es:

**“APLICACIÓN DE LA MEJORA CONTINUA EN LA  
PERFORACION Y VOLADURA DE ROCAS - FAMESA  
EXPLOSIVOS PERU S.A.C. 2023”**

Presentado por:

**VALENCIA REYES GUSTAVO ALDAIR**

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

**El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 18%.**

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. **En Ica 4 de noviembre de 2025.**

Atentamente,

.....  
**DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN**  
**DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA FIMM**

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS Y METALURGIA**



**APLICACIÓN DE LA MEJORA CONTINUA EN LA  
PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS – FAMESA  
EXPLOSIVOS PERÚ S.A.C. 2023**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Desarrollo en ciencias puras, ciencias de la tierra e ingeniería de procesos

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR**

**BACH. GUSTAVO ALDAIR VALENCIA REYES**

**ICA – PERÚ**

**2025**



**Dedicatoria**

*A mis padres.*



## **Agradecimiento**

*A Dios, por toda la bendición.*

*A la FIMM de la Universidad Nacional San Luis Gonzaga*

*A la plana catedrática.*

*A los ingenieros de la unidad minera.*

*A mis familiares por su apoyo sin condición.*

## Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras.....	viii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad problemática .....	11
1.2. Antecedentes.....	15
1.2.1. Internacionales.....	15
1.2.2. Nacionales .....	18
1.3. Bases teóricas .....	21
1.3.1. Perforación y voladura de rocas.....	21
1.3.1.1. Definición .....	21
1.3.1.2. Objetivos.....	22
1.3.1.3. Características.....	23
1.3.1.4. Tipos de perforación .....	24
1.3.1.5. Tipos de mallas.....	26
1.3.1.6. Tipos de taladros perforados .....	28
1.3.1.7. Tipos de corte .....	31

1.3.1.8.	<i>Factores para el diseño de mallas</i> .....	32
1.3.2.	<i>Mejora continua</i> .....	34
1.3.2.1.	<i>Historia</i> .....	34
1.3.2.2.	<i>Definición</i> .....	36
1.3.2.3.	<i>Objetivos</i> .....	37
1.3.2.4.	<i>Características</i> .....	38
1.3.2.5.	<i>Importancia</i> .....	40
1.3.2.6.	<i>Ventajas</i> .....	42
1.3.2.7.	<i>Aplicación en el sector minero</i> .....	44
1.3.2.8.	<i>Aplicación en la perforación y voladura</i> .....	47
1.4.	<i>Formulación de los problemas</i> .....	50
1.4.1.	<i>Problema general</i> .....	50
1.4.2.	<i>Problemas específicos</i> .....	50
1.5.	<i>Justificación</i> .....	50
1.6.	<i>Objetivos</i> .....	52
1.6.1.	<i>Objetivo general</i> .....	52
1.6.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	52
1.7.	<i>Hipótesis</i> .....	52
1.7.1.	<i>Hipótesis específica</i> .....	52
1.7.2.	<i>Hipótesis específica</i> .....	52
<b>II.</b>	<b>ESTRATEGIA METODOLÓGICA</b> .....	<b>54</b>
2.1.	<i>Lugar de estudio</i> .....	54

2.2.	Tipo de investigación .....	54
2.3.	Nivel de investigación .....	54
2.4.	Diseño de investigación .....	55
2.5.	Población y muestra .....	55
2.5.1.	<i>Población</i> .....	55
2.5.2.	<i>Muestra</i> .....	55
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	56
2.7.	Técnicas de análisis e interpretación de datos .....	56
<b>III.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>58</b>
3.1.	Mejora continua en el proceso, mes de marzo .....	58
3.2.	Mejora continua en el proceso, mes de abril .....	72
3.3.	Mejora continua en el proceso, mes de mayo .....	75
<b>IV.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>V.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>VI.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>
<b>VII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>89</b>
	Anexo N°1: Operacionalización de variables.....	90
	Anexo N° 2: Matriz de consistencia .....	91
	Anexo N°3: Planos .....	93
	Anexo N°4: Evidencia fotográfica .....	99

## Índice de tablas

Tabla 1. <i>Sobre excavación permitida por tipo de roca, marzo 2023</i> .....	70
Tabla 2. <i>Resultados de límites de sobrerotura y sobre excavación, marzo 2023</i> .....	70
Tabla 3. <i>Plan de capacitación, abril 2023</i> .....	74
Tabla 4. <i>Límites de sobrerotura y sobre excavación, mayo 2023</i> .....	76



## Índice de figuras

Figura 1. Rendimiento metros/disparo marzo 2023 .....	61
Figura 2. Longitud de perforación y, valor y descripción de la roca .....	61
Figura 3. Marcado de mallas, marzo.....	63
Figura 4. Marcado de contras, marzo .....	63
Figura 5. Corte propuesto, marzo .....	64
Figura 6. Malla de perforación ANFO, frentes 4x4, RMR 21-40.....	65
Figura 7. Malla de perforación EMULNOR, frentes 4x4, RMR 21-40.....	66
Figura 8. Malla de perforación ANFO, frentes 4x4, RMR 41-60.....	67
Figura 9. Malla de perforación EMULNOR, frentes 4x4, RMR 41-60.....	68
Figura 10. Metros perforados hasta marzo 2023 .....	69
Figura 11. Cantidad de horas de capacitación, marzo 2023.....	71
Figura 12. Capacitación en sala, marzo 2023.....	71
Figura 13. Rendimiento metros/disparo abril 2023.....	72
Figura 14. Historial de sobrerotura - cantidad de labores con sobrerotura a controlar .....	73
Figura 15. Cantidad de horas de capacitación, abril 2023 .....	75
Figura 16. Rendimiento metros/disparo mayo 2023.....	76
Figura 17. Cantidad de horas de capacitación, mayo 2023 .....	77

## Resumen

La investigación tiene como objetivo general determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023. Es un estudio de tipo aplicada, descriptivo, explicativo, comparativo transversal, la muestra se conforma por la unidad de producción Catalina Huanca, en el cual Famesa Explosivos Perú S.A.C. ejecuta labores de perforación y voladura de rocas, en el año 2023. Se determinó que la aplicación de la mejora continua influye positivamente en el indicador metros de avance por disparo de la perforación y voladura de rocas, pues se logró elevar en los meses de prueba a 3.56 metros/disparo que a su vez se encuentra por encima del mes febrero base de 3.44 metros/disparo. Además, influye positivamente en el indicador sobrerotura de la perforación y voladura de rocas, pues más del 90% de la sobre excavación se encuentran por debajo del límite permitido, además, la cantidad de labores con sobrerotura se redujo a 4, Famesa 2023. Finalmente, influye positivamente en el indicador capacitación de la perforación y voladura de rocas, pues se alcanzó elevar de 95.25 horas capacitadas a 162.75 horas capacitadas en los meses de prueba, Famesa 2023.

**Palabras Claves:** *Mejora continua, metros por disparo, perforación y voladura.*

## Abstract

The general objective of the research is to determine that the application of continuous improvement influences the drilling and blasting of rocks - Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023. It is an applied, descriptive, explanatory, comparative, cross-sectional study, the sample consists of the Catalina Huanca production unit, in which Famesa Explosivos Perú S.A.C. performs drilling and blasting of rocks, in the year 2023. It was determined that the application of continuous improvement has a positive influence on the indicator meters of advance per shot of drilling and rock blasting, since it was possible to increase in the test months to 3.56 meters/shoot, which in turn is above the base month of February of 3.44 meters/shoot. It also has a positive influence on the overburden indicator for drilling and rock blasting, as more than 90% of the overburden excavation is below the permitted limit, and the number of jobs with overburden was reduced to 4, Famesa 2023. Finally, it has a positive influence on the training indicator for rock drilling and blasting, as it was possible to increase from 95.25 hours trained to 162.75 hours trained in the test months, Famesa 2023.

**Keywords:** *Continuous improvement, meters per shot, drilling and blasting.*

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La minería constituye un componente esencial de la economía peruana, aportando cerca del 15% del Producto Bruto Interno y representando aproximadamente dos tercios de las exportaciones del país. Este sector es fundamental para la generación de ingresos fiscales y la consolidación de cadenas productivas, de manera que la optimización de su eficiencia operativa tiene un impacto considerable en la economía [1]. En particular, la mejora de procesos críticos, como los relacionados con la perforación y voladura en minería subterránea, se traduce en una significativa reducción de costos y un aumento en la productividad de los proyectos mineros. Asimismo, en un contexto de intensa competencia internacional en el sector de minerales, es imperativo que las operaciones mineras peruanas adopten estrategias de mejora continua para sostener su competitividad. La implementación de innovaciones y la optimización de técnicas operativas no solo incrementan la rentabilidad de los proyectos, sino que también consolidan la posición del Perú en el mercado global, garantizando una respuesta eficaz a las exigencias y dinámicas de la economía mundial [2].

A nivel internacional, las empresas mineras están implementando metodologías de mejora continua con el objetivo de perfeccionar sus procesos, incrementando así los estándares de seguridad y productividad. Entre estas técnicas se encuentra Six Sigma, utilizada para minimizar la variabilidad e ineficiencias en las operaciones, y las estrategias de voladura controlada, aplicadas para reducir el impacto en la roca encajante [3]. Un caso ilustrativo en una mina de cobre y oro de renombre mundial demostró que, al optimizar el diseño de voladura durante la etapa de desarrollo, la sobrerotura se redujo de un 18% a un 4.5%, lo

que a su vez mejoró la estabilidad de las galerías y disminuyó los costos de limpieza y sostenimiento [4].

La reciente literatura técnica destaca mejoras significativas derivadas de la implementación de iniciativas de mejora continua en procesos de perforación y voladura. Por ejemplo, en la mina Andaychagua (Volcan), el rediseño de la malla de perforación permitió lograr un avance promedio de 3.02 metros por disparo, lo que equivale al 95% de la longitud de perforación de 3.20 metros, superando los resultados previos. Paralelamente, se observó una reducción en la sobrerotura, que se situó en un promedio de 4.86%, inferior al 5% registrado inicialmente, demostrando la efectividad de la optimización del proceso [5].

En la Unidad Chungar, la implementación de un ciclo de mejora continua mediante el enfoque PHVA elevó la eficiencia de avance de una línea base del 80% hasta alcanzar un 94%, además de reducir la sobrerotura de un 25% a un 11%, lo cual permitió completar casi la totalidad de la longitud perforada en cada disparo y minimizar el material excedente [6]. De manera similar, en la mina aurífera Retamas, la aplicación de voladura controlada resultó en un incremento marginal del avance por disparo y en una disminución notable de la sobrerotura, reduciéndola casi a la mitad [7]. Estos ejemplos evidencian que la optimización del diseño y la ejecución de las voladuras son fundamentales para mejorar el rendimiento técnico de la perforación, alcanzando mayores avances y reduciendo el daño a la roca.

La evidencia presentada revela un desafío operativo en la minería subterránea, evidenciado por el reducido avance por disparo y la alta incidencia de sobrerotura. Un manejo deficiente de la voladura no solo limita la cantidad de túnel avanzado por ciclo, obligando a emplear más disparos para cumplir con los

objetivos de desarrollo, sino que también provoca una excavación excesiva que debe ser posteriormente removida, generando materiales de relleno que no aportan valor. Esto se traduce en mayores inversiones de tiempo y recursos económicos por cada metro lineal desarrollado, afectando negativamente la eficiencia global del proceso.

Asimismo, diversos casos prácticos ilustran el impacto de estas ineficiencias. Por ejemplo, una mina peruana reportó que, tras la reanudación de sus operaciones, el 63% de sus disparos no alcanzaron el avance planificado (menos de 3.4 metros), lo que resultó en pérdidas de US\$512,000 en un periodo de seis meses y en sanciones por el incumplimiento de las metas establecidas [8]. De igual manera, en la operación de Chungar, la pérdida de 27.6 metros de avance repercutió negativamente en la facturación del contratista, reduciendo sus ingresos significativamente [9]. Además de los efectos económicos, la elevada sobrerotura pone en riesgo la estabilidad operativa al requerir refuerzos adicionales en el sostenimiento, lo que incrementa los riesgos de seguridad. Estos factores evidencian la necesidad de aplicar estrategias de mejora continua en los procesos de perforación y voladura para cerrar las brechas de rendimiento y asegurar el avance esperado en cada disparo.

Ante esta problemática, se proponen soluciones integrales fundamentadas en la mejora continua del proceso de perforación-voladura. Se recurre a metodologías de gestión de la calidad, tales como el ciclo PHVA y Lean Six Sigma, que facilitan el análisis detallado del proceso, la identificación de las causas raíz de las desviaciones y la implementación de mejoras controladas [8]. Por ejemplo, la aplicación del enfoque DMAIC en una operación contratista permitió estandarizar el ciclo de avance diario, logrando reducir en un 51% los disparos que no

cumplían con las especificaciones y aumentando la eficiencia operativa de las voladuras de aproximadamente un 42% a un 72%, lo que generó un valor económico neto superior a US\$ 70,000 para la empresa [8].

De forma paralela, se han adoptado medidas para optimizar el diseño de la malla de perforación mediante simulaciones y pruebas piloto, ajustando variables críticas como el burden y el número de taladros por frente, lo que ha permitido obtener disparos que alcanzan de forma consistente un avance deseado de 3.4 metros por ronda [8]. Asimismo, se ha promovido la utilización de tecnologías avanzadas en voladura, tales como detonadores electrónicos de precisión y cargas segmentadas, que reducen la energía excedente y controlan la sobrerotura [10]. La integración de modelos matemáticos para predecir la fragmentación y calibrar el diseño de voladura según las condiciones geomecánicas, junto con el fortalecimiento del entrenamiento y la supervisión mediante la estandarización de procedimientos y auditorías regulares, garantizan que las mejoras implementadas se mantengan en el tiempo, aumentando la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones de desarrollo [11].

Famesa Explosivos Perú es una de las empresas líderes en brindar el servicio de avance en operaciones de perforación y voladura, sus metodologías e insumos utilizados cada vez se innovan para elevar la calidad del servicio, por ello, alineado a los objetivos operacionales del contratante, se tiene como alcance principal mejorar indicadores de perforación y voladura mediante aspectos de mejora continua, con la finalidad de conseguir sostenibilidad y alta productividad, basado en la problemática antes evaluada.

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Internacionales

En Ecuador, **Sánchez A.** [12], en **2023**, en su investigación, el cual planteó como **objetivo**: “Optimizar los procesos de perforación y voladura en la mina de áridos a cielo abierto Pablo Beltrán Jara, ubicada en la provincia de El Oro”. Fue una investigación cuantitativa, descriptiva, de campo mediante técnicas de la observación. Al término se **concluyó** que:

- La aplicación de la técnica de diseño de López Jimeno facilitó el cálculo preciso de diversos parámetros de la malla de perforación y voladura, dando como resultado una distribución efectiva de los barrenos, una menor cantidad de barrenos, una mayor eficiencia y resultados óptimos a menores costos.
- Los resultados indican que la nueva alternativa de diseño es ideal, con una diferencia de 14 barrenos y 22 cajas de ANFO, con una reducción de costos de \$660 en comparación con el diseño actual.
- La nueva alternativa de diseño resulta económicamente más ventajosa para la empresa, obteniendo un ahorro de 4 centavos por metro cúbico de material extraído en comparación con el diseño existente.
- Desde el punto de vista técnico, se logran resultados favorables, incluyendo un mayor avance, mayor eficiencia y reducción de costos; estos factores no están directamente

relacionados con la cantidad de carga explosiva empleada, sino más bien con la distribución óptima de los barrenos.

En Ecuador, **Montalvo B.** [13], en 2022, en su investigación el cual planteó como **objetivo**: “Diseñar una malla de perforación y voladura que permita controlar la dilución en el Subnivel de producción “Gemelos”, en la mina “Pique”, compañía Oroconcent S.A, Portovelo”. Fue una investigación experimental, transversal, prospectiva, de campo y descriptivo. Al término los autores **concluyeron** que:

- Mediante una gestión meticulosa de los tiempos del ciclo minero, el subnivel de preparación-explotación "Gemelos" demuestra una capacidad de extracción de 0,16 Ton/Hombre-hora. Esto refleja una ley minera operativa de 1,4 gramos/Ton, con un precio de \$1859,03/Ozt, considerando un impuesto de extracción bruta del 3%, una tasa de recuperación del 85% por cianuración y una penalidad del 90% por pureza del metal, lo que da como resultado un valor de \$62,1/Ton. El rendimiento económico de la producción se registra en 9,94 \$/Hora.
- La aplicación del análisis de Pareto a las operaciones unitarias en el ciclo minero revela que para mejorar el rendimiento económico de la producción es necesario optimizar las siguientes operaciones: remoción de material, con una influencia del 27,7%; ventilación, con una influencia del 22,1%; y transporte, con una influencia del 11,8%. Reconociendo que para mejorar el rendimiento económico

es necesario mejorar la selectividad minera y minimizar la dilución de la extracción.

En Ecuador, **Coronel C.** [14], en **2024**, en su investigación el cual planteó como **objetivo**: “optimizar los sistemas de perforación y voladura de rocas en el frente de explotación “nivel H” de la mina Agua Dulce”. Asimismo, fue una investigación aplicada, transversal y cuantitativa, técnicas bibliográficas y la observación. Al término el autor **concluyó** que:

- El consumo específico se incrementó con la implementación del nuevo diseño, pasando de 4,21 kg/m<sup>3</sup> en el modelo anterior a 4,68 kg/m<sup>3</sup> en el nuevo diseño, lo que supone un incremento de 0,47 kg/m<sup>3</sup>. Esta variación se atribuye a la incorporación de un cartucho adicional de carga en columna, mejorando el confinamiento del explosivo y obteniendo resultados favorables en la voladura, manteniéndose dentro del rango prescrito para voladuras subterráneas, que varía de 0,9 a 7 kg/m<sup>3</sup>.
- La fragmentación de la roca presentó una variación mínima entre los dos modelos aplicados. En el nuevo diseño, los tamaños de roca fragmentada oscilan entre 5 cm y 20 cm, mientras que el modelo anterior arrojaba tamaños entre 5 cm y 16 cm. Esta discrepancia no afectó significativamente a los procesos posteriores de limpieza, carguío y transporte del mineral. El costo de la voladura con el modelo anterior era de US\$14,52/m<sup>3</sup>, pero el nuevo diseño cuesta US\$13,08/m<sup>3</sup>, lo que resulta en una diferencia de

US\$1,44/m<sup>3</sup>, lo que indica una mejor eficiencia económica en el uso de explosivos con el nuevo diseño de perforación.

### 1.2.2. Nacionales

En Huancayo, Gave D. [4], en el año 2024, en su investigación el cual planteó como objetivo: “Determinar de qué manera la aplicación de la mejora continua en la perforación y voladura permite optimizar los kpi's en la Mina Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A.”. Asimismo, fue una investigación de tipo aplicada, método científico, diseño experimental comparativo, técnica de la observación. Al término concluyó que:

- El análisis del tonelaje generado por metro perforado reveló una diferencia positiva de 1,6 Tm/m respecto al diseño de malla anterior, lo que indica un aumento sustancial del 36%.
- Al evaluar la distribución del tamaño de partícula, se registró una desviación negativa de 0,75 pulgadas en el tamaño de fragmentación, con respecto al resultado del estudio previo; esta cifra significa una reducción del 14%, lo que es sustancial.
- El análisis del uso de explosivos reveló una variación negativa de 447,6 dólares respecto del costo del estudio previo, lo que indica una reducción sustancial del 30%.

En Cerro de Pasco, Telada B. [5], en el 2024, en su investigación el cual planteó como objetivo: “Determinar las condiciones de calidad de los parámetros de la voladura que hacen que no se tenga una eficiente voladura y ver alternativas de solución a plantear en la Empresa Minera Santa Luisa – Unidad Huanzala”. Asimismo, fue una investigación de tipo

aplicada, nivel descriptivo, método científico, diseño no experimental. Al término el autor concluyó que:

- Las fuentes de errores identificadas incluyen la falla del equipo de perforación para mantener el paralelismo. Grado deficiente de los aceros de perforación. No existe un formato de evaluación para el disparo. Duraciones de perforación, saneamiento y cargas subóptimas. No existen investigaciones sobre vibraciones causadas por disparos. No limpian los pozos. La malla de perforación no está diseñada en función del tipo de roca. Sobrecarga de las perforadoras y cajas de núcleo, Disponibilidad mecánica reducida del equipo
- Se logró mediante la implementación. El número de accidentes causados por la caída de guijarros disminuyó a 58 en 2022. La intensidad de la vibración se redujo a 11,3 mm/s en 2022. El factor de potencia osciló entre 0,18 y 0,28. El uso de pernos de soporte fue de 1.485 en 2022. Las regiones clave de estabilidad de la roca disminuyeron al 15% en 2022.

En Huancayo, Villar R. [6], en el año 2021, en su investigación el cual planteó como objetivo: “Determinar de qué manera el ciclo de mejora continua influye en la optimización de la perforación y voladura en labores de avance en la U.E.A. Chungar de Cía. Minera Volcan S.A.A.”. Asimismo, fue una investigación aplicada, nivel experimental, método científico, diseño experimental. Al término el autor concluyó que:

- La longitud de perforación previa a la investigación fue de 3,30 metros, con una eficiencia de avance de 2,65 metros, determinada en la línea base, lo que indica una eficiencia del 80%.
- 3. En el trabajo de investigación, la longitud promedio de perforación ejecutada con idéntico equipo y personal ha alcanzado los 3,66 metros, mientras que la eficiencia de avance promedia los 3,45 metros, lo que indica un 94%; esto refleja una mejora del 30% con respecto a la línea base.
- El factor de avance por metro lineal fue de 43,40 kg/m; luego del trabajo de investigación, el factor de avance obtenido es de 35,2 kg/m. En consecuencia, hay una reducción del 19% en el consumo de explosivo por metro lineal de avance.
- 5. Antes de la investigación, la sobre-rotura promedio era del 25% del tramo; luego del trabajo, se logró una sobre-rotura promedio del 11%, lo que indica una reducción del 55% con respecto a la línea base.

En Trujillo, Chávez J. [7], en el año 2019, en su investigación el cual planteó como objetivo: “Optimizar la eficiencia de perforación, con la implementación del equipo Boomer S1D, para lograr un mayor avance, teniendo una mayor capacidad de perforación” con el uso de detonadores electrónicos para la iniciación de la malla pirotécnica, en labores subterráneas desde un centro de disparo seguro ubicado en superficie”. Asimismo, fue una investigación de tipo aplicada, nivel explicativo, método descriptivo, diseño transversal. Al término los autores concluyeron que:

- La eficiencia de avance de los frentes lineales del 21 al 30 de enero fue de 4,3 m/lanzamiento.
- De manera similar, el factor de avance lineal del 21 al 30 de enero fue de 32,29 kg/m, dependiendo de la naturaleza de la tarea.
- Se utilizaron plantillas de geomembrana para la fase inicial de diseño.
- El personal involucrado en las operaciones de perforación y voladura recibió capacitación en el sitio.
- Se determinó que con la longitud de perforación de 16 pies el factor de carga lineal promedio es 32.29 kg/m.

### **1.3. Bases teóricas**

#### **1.3.1. Perforación y voladura de rocas**

##### **1.3.1.1. Definición**

En minería subterránea, la perforación se entiende como el proceso mediante el cual se generan cavidades de forma cilíndrica en el macizo rocoso, siguiendo una distribución y geometría predeterminadas, para alojar posteriormente cargas explosivas. Este procedimiento se lleva a cabo utilizando equipos mecánicos como perforadoras manuales o jumbos, lo que permite obtener taladros en ubicaciones y profundidades específicas que resultan fundamentales para el éxito del proceso extractivo [15]

La voladura, también conocida en ciertos contextos como tronadura, consiste en fragmentar la roca a través de la detonación controlada de los explosivos previamente instalados en los taladros. La energía liberada

durante la explosión se aprovecha para desintegrar y desplazar el material, ya sea mineral o estéril, generando la excavación necesaria para el avance de túneles, galerías o áreas de producción. En conjunto, la coordinación precisa entre la perforación y la voladura es determinante para lograr una fragmentación eficiente y cumplir con los objetivos de extracción en la minería subterránea [16]

#### **1.3.1.2. Objetivos**

Las operaciones de perforación y voladura en minería subterránea tienen como finalidad alcanzar metas técnicas y económicas esenciales, principalmente la fragmentación controlada de la roca hasta obtener el tamaño ideal para facilitar subsecuentes actividades como el carguío, transporte y trituración. Una voladura eficaz debe generar un material fragmentado con una granulometría uniforme, evitando la presencia de fragmentos excesivamente grandes que obliguen a realizar una segunda voladura, lo cual redundaría en un proceso menos eficiente y más costoso [17]

Además, se persigue que la excavación avance de manera sostenida y conforme al plan de minado, asegurando el suministro continuo de roca o mineral fragmentado. Esto implica obtener las dimensiones y formas requeridas en la excavación, cuidando de preservar los contornos definidos (techos, pisos y paredes) con el menor daño posible al macizo rocoso. Esta precisión en el proceso no solo mejora la estabilidad de la excavación, sino que también previene daños estructurales que podrían comprometer la seguridad y requerir intervenciones adicionales de refuerzo [18].

Por último, el texto destaca la importancia de controlar los efectos secundarios de la detonación, tales como la proyección de fragmentos, las vibraciones y la dispersión de gases, especialmente en ambientes subterráneos. La limitación de estos efectos adversos es fundamental para evitar daños en zonas confinadas y en infraestructuras cercanas, asegurando que la aplicación de explosivos no genere impactos negativos excesivos. Así, la integración de estas medidas contribuye a que las operaciones de perforación y voladura sean seguras, eficientes y económicamente viables [18].

#### **1.3.1.3. Características**

Las operaciones de perforación y voladura en el ámbito de la minería subterránea se distinguen notablemente de las realizadas en minería a cielo abierto, principalmente por la naturaleza del entorno en que se desarrollan. Debido a que los trabajos se efectúan en túneles o galerías, se carece de una amplia cara libre natural, por lo que se debe crear mediante un corte inicial específico. Este primer paso es esencial para formar el espacio necesario que compense la falta de superficies de alivio y para gestionar de forma adecuada el confinamiento de los gases de explosión [19].

En estos escenarios, las dimensiones de los taladros son menores, con diámetros típicos en el rango de 45 a 51 mm, y las longitudes de perforación se limitan a avances relativamente cortos de 2 a 4 metros. Estas características conllevan a que las voladuras sean de menor escala, pero se realicen de manera frecuente, con un tiro por ciclo de trabajo. El volumen de roca fragmentada es reducido en cada operación, lo que

requiere que la fragmentación sea precisa para posibilitar una rápida remoción del material con equipos como LHD o vagonetas, y subraya la importancia de una ventilación adecuada para disipar gases y humos [19]

El uso de explosivos en minería subterránea se adapta a las particularidades del entorno confinado. Se recurre a explosivos encartuchados de alta densidad, como dinamitas o emulsiones sensibilizadas, que ofrecen una liberación de energía concentrada y facilitan la ventilación de los gases resultantes. Por otro lado, explosivos a granel, como el ANFO, se utilizan únicamente en condiciones específicas, tales como en taladros secos y con buena ventilación, lo que evidencia la importancia de seleccionar materiales adecuados según las condiciones operativas y de seguridad [19]

Finalmente, la seguridad y el control representan aspectos esenciales en las voladuras subterráneas. Dada la naturaleza cerrada del espacio, se establece que el personal debe evacuar el área antes de la detonación y reingresar solo después de una ventilación completa. Además, se aplican medidas como el sellado de los taladros con material inerte para contener la expulsión de fragmentos, y el uso de detonadores de micro-retardo para escalonar la explosión, lo que permite minimizar los impactos negativos sobre las labores adyacentes y asegurar la integridad del entorno de la mina [19]

#### **1.3.1.4. Tipos de perforación**

En la minería subterránea se aplican distintos métodos y equipos de perforación que se adaptan tanto al espacio disponible como a los fines de la excavación. La técnica predominante es la perforación

rotopercusiva, que combina golpes de percusión con una rotación parcial de la broca para triturar eficazmente la roca. Este método permite que cada golpe contribuya a la fragmentación controlada del macizo rocoso, optimizando así el proceso de voladura [20]

La técnica rotopercusiva puede implementarse de dos maneras: mediante martillo en cabeza o martillo en fondo. En el primer caso, la máquina integra el mecanismo de percusión y transmite la energía a través de barras acopladas a la broca; en el segundo, se utiliza un martillo neumático o hidráulico instalado en el extremo del taladro, propio de los equipos DTH. Es relevante destacar que la perforación exclusivamente rotativa se reserva para aplicaciones particulares, como la perforación diamantina de exploración, ya que resulta ineficiente para trabajos de voladura en rocas duras [20]

La clasificación de los equipos de perforación en minería subterránea se realiza fundamentalmente en dos categorías: la perforación manual y la mecanizada. La perforación manual se ejecuta con martillos neumáticos portátiles, conocidos como jacklegs o stopers, y se utiliza en labores de menor envergadura, donde se realizan taladros cortos de diámetros reducidos. En contraste, la perforación mecanizada se efectúa con jumbos electro-hidráulicos, que automatizan el proceso en frentes de desarrollo más extensos, permitiendo la perforación simultánea de numerosos taladros con mayor rapidez y precisión [20]

Además, existen equipos especializados para la perforación de taladros largos, denominados long-hole drills, que se utilizan en métodos de explotación masivos. Estos equipos, tales como los modelos Simba de

Epiroc o Solo de Sandvik, posibilitan la perforación de barrenos de gran longitud en forma de abanico o de manera paralela, haciendo uso de martillos en fondo de alta potencia para garantizar la rectitud del taladro. Este tipo de perforación se aplica en metodologías como el sublevel stoping o en taladros largos ascendentes y descendentes, adaptándose a la extracción de grandes volúmenes de mineral [20]

En resumen, los diversos métodos de perforación en minería subterránea abarcan desde la perforación manual con martillos neumáticos, pasando por la perforación mecanizada con jumbos electro-hidráulicos, hasta la utilización de equipos especializados para taladros largos. Aunque todos estos procesos se basan esencialmente en la técnica de percusión-rotación, varían en función del grado de mecanización, la longitud y el diámetro de los taladros, así como de la aplicación específica en la voladura. Esta variedad de enfoques permite optimizar la eficiencia y la seguridad en las operaciones mineras, adaptándose a las condiciones particulares de cada entorno subterráneo [20]

#### **1.3.1.5. Tipos de mallas**

La malla de perforación y voladura se define como el patrón geométrico utilizado para disponer los taladros en un frente o macizo rocoso, considerando tanto la separación entre ellos (espaciamiento) como la distancia a la cara libre (burden o retroversión) y la secuencia de detonación [21]

Existen diversos tipos de mallas o patrones de perforación, cuya elección depende tanto de las propiedades de la roca como del objetivo que se persigue en la voladura. Entre los patrones convencionales se encuentran

la malla cuadrada, rectangular y triangular, junto con configuraciones especializadas como las mallas radiales o en abanico [21]

En el patrón de malla cuadrada, los taladros se organizan en una cuadrícula regular, de manera que el espaciamiento entre taladros en la misma fila es igual a la distancia desde esa fila a la cara libre. Esta disposición ofrece una distribución uniforme de los explosivos, aunque puede ocasionar una fragmentación no del todo homogénea si los valores de espaciamiento y burden son elevados [21]

La malla rectangular es similar a la cuadrada, pero se caracteriza por tener diferentes valores de espaciamiento y burden en direcciones particulares. Esto permite, por ejemplo, disponer taladros con mayor separación en la dirección longitudinal de la galería, optimizando el número de perforaciones cuando la roca muestra anisotropía o cuando se busca reducir costos [21]

Por su parte, la malla triangular, o escalonada, se configura de modo que los taladros en filas alternas se intercalan, formando triángulos equiláteros en la distribución. Esta disposición favorece una fragmentación más uniforme al garantizar que cada taladro se encuentre rodeado de otros seis a igual distancia, permitiendo además un espaciamiento ligeramente mayor en la misma fila [21]

Se incluyen además patrones como las mallas radiales o en abanico, en los que los taladros se disponen irradiando desde un punto o línea central. Este tipo de configuración se emplea principalmente en excavaciones de forma circular o en voladuras de túneles, donde se perfila un tiro en abanico que se adapta a la geometría específica de la obra [21]

También se contempla la posibilidad de utilizar mallas irregulares en función de las condiciones geológicas del macizo rocoso. En zonas de alta competencia, se opta por una malla densa con taladros próximos, mientras que en áreas más fracturadas se puede utilizar una malla más abierta para evitar acumulaciones de vibraciones y optimizar la fragmentación [21]

En la minería subterránea orientada al desarrollo, el término “malla” se emplea para describir el diseño del frente de perforación, que incluye la disposición y el número de taladros según su función (como taladros de corte, ayuda, destroza y contorno). Aunque la distribución puede no ser perfectamente regular, se procura mantener espaciamientos uniformes en áreas clave para asegurar una fragmentación equilibrada y un perfil adecuado.

En síntesis, el buen diseño de una malla de perforación y voladura busca equilibrar la cantidad mínima de taladros para reducir costos con una fragmentación adecuada que evite la sobreexcavación. Para ello, se consideran parámetros esenciales como el burden, el espaciamiento y la relación E/B, de manera que las ondas de choque se solapen de forma óptima, garantizando una fragmentación completa sin zonas inactivas.

#### **1.3.1.6. Tipos de taladros perforados**

En una voladura subterránea típica orientada al avance de una galería o túnel, se emplean diversos grupos de taladros clasificados según su función y ubicación en el frente, lo que permite organizar la secuencia de disparo de manera que se optimice la fragmentación de la roca de forma progresiva.

Los taladros de corte, denominados también cuello o arranque, se sitúan generalmente en el centro del frente. Su objetivo es iniciar la voladura creando la primera cara libre interna mediante la formación de un vacío central. Para ello, se cargan con explosivos de mayor potencia y en cantidades elevadas, siendo los primeros en dispararse para abrir un cráter interno en el macizo rocoso [22]

Los taladros de ayuda se disponen alrededor del corte y tienen la función de ampliar el espacio generado inicialmente. Al detonarse con retardos cortos tras los taladros de corte, estos taladros facilitan la fragmentación de la roca al aprovechar la cara libre ya creada, contribuyendo además a definir la sección aproximada de la excavación mediante un posicionamiento estratégico [22]

Los taladros de producción, considerados los principales en la producción, están diseñados para fragmentar la masa rocosa remanente que se encuentra entre el vacío creado y los límites del avance. Estos taladros se distribuyen de forma regular en el frente y se disparan en sucesivos retardos, utilizando cargas moderadas que aseguran un equilibrio entre eficiencia en la fragmentación y control del proceso explosivo [22]

Los taladros de contorno se ubican en el perímetro de la excavación, delineando con precisión el perfil del frente, abarcando techo, hastiales y piso. Su función es recortar la roca de manera que se minimice el daño al macizo circundante, por lo que se les asigna una carga inferior y se aplican técnicas de voladura controlada, garantizando un corte limpio y estable [22].

En la parte inferior del frente se encuentran los taladros de piso, conocidos también como zapateros, que aseguran que el levantamiento del piso se realice de acuerdo con la cota deseada. Su correcta ejecución es vital para evitar irregularidades en el fondo de la excavación, lo cual facilita el desescombro posterior y contribuye a la continuidad del avance minero [22]

Para frentes de sección amplia se incorporan los taladros de techo o alzantes, que tienen la finalidad de fragmentar la corona del túnel y evitar la formación de cuñas colgantes. Estos taladros, que generalmente se cargan con una cantidad reducida de explosivo, se disparan en las etapas finales del proceso, garantizando un techo uniforme y estable [22].

La secuencia de disparo se estructura de manera que se inicia con los taladros de corte, seguidos por los de ayuda, luego los de producción y, finalmente, los de contorno, incluyendo los zapateros y los taladros de techo. Este orden permite liberar progresivamente la energía explosiva, optimizando el alivio y reduciendo los impactos de las ondas, lo que se traduce en una fragmentación controlada y eficiente [22].

Por último, se reconoce que, dependiendo del diseño de la voladura, algunos tipos de taladros pueden solaparse o no distinguirse de forma explícita, especialmente en operaciones de menor escala o en voladuras controladas. Sin embargo, los principios fundamentales –arranque central, expansión del vacío, fragmentación completa y perfilado preciso– se mantienen constantes, asegurando que se cubran todas las funciones esenciales para el éxito de la voladura subterránea.

### 1.3.1.7. Tipos de corte

En el contexto de las voladuras subterráneas, el corte o arranque se define como la configuración inicial de taladros cuyo propósito es establecer la cara libre necesaria para la excavación. Este paso resulta crucial, ya que marca el inicio de la secuencia explosiva y determina el éxito del avance en la obra.

Entre los métodos más comunes se encuentran el corte en cuña, en abanico, el corte quemado y el corte cilíndrico, los cuales se diferencian en la disposición y la carga aplicada en los taladros de arranque [23].

El corte en cuña se caracteriza por el uso de varios taladros inclinados que convergen formando una "V" hacia el interior del macizo. Esta configuración permite extraer una cuña de roca y puede alcanzar un avance que oscila entre el 45% y el 50% del ancho de la sección, pudiendo aumentar hasta el 80% en su variante instantánea, siempre y cuando se mantenga la convergencia adecuada y un ángulo de corte mayor a aproximadamente 60° [23].

Por otra parte, el corte en abanico, que consiste en perforar un grupo de taladros dispuestos en forma divergente desde el centro hacia los laterales, se utilizó ampliamente en el pasado. Sin embargo, este método ha caído en desuso debido a las dificultades en la perforación, especialmente en las proximidades de los hastiales, y a la limitada capacidad de avance que ofrece en comparación con otros métodos [23].

En el método conocido como corte quemado, los taladros se realizan paralelamente al eje del túnel, dejando intencionadamente uno o más taladros sin carga para que actúen como un hueco piloto. Este enfoque,

apreciado por su sencillez y facilidad de ejecución, permite alcanzar avances que pueden llegar al 80–95% de la longitud de los taladros, aunque conlleva ciertos inconvenientes, como una fragmentación excesivamente fina y altos niveles de ruido y humo [23].

El corte cilíndrico abarca técnicas en las que la detonación de los taladros se realiza de manera secuencial para formar progresivamente un vacío de forma circular dentro del frente. Se destacan dos variantes: el corte en doble espiral, que dispone los taladros en forma de hélices alrededor de un núcleo vacío, y el corte Coromant, que utiliza dos barrenos secantes para crear un hueco elíptico, optimizando el avance en condiciones específicas de la roca [24].

En conclusión, la elección del tipo de corte depende de múltiples factores, tales como la dureza y el fracturamiento de la roca, la sección del túnel y las capacidades del equipo de perforación. El desempeño de cada corte se evalúa en función del porcentaje de avance logrado, siendo fundamental que la ejecución del corte se realice de manera precisa para asegurar el éxito global de la voladura y, por ende, la eficiencia de la excavación subterránea [24].

#### **1.3.1.8. Factores para el diseño de mallas**

El diseño de una malla de perforación y voladura en minería subterránea exige la consideración de diversos factores, entre los cuales destacan los aspectos geotécnicos, geométricos y operativos. Antes de establecer el patrón de perforación, es esencial analizar las propiedades del macizo rocoso, tales como su resistencia a compresión, el grado de

fracturamiento y la presencia de discontinuidades, las cuales condicionan el enfoque a seguir [25].

Los parámetros físicos de los taladros, en particular su diámetro y longitud, son determinantes en la configuración de la malla. Un mayor diámetro permite un burden y espaciamientos mayores debido al incremento en la capacidad rompedora, mientras que la longitud de los taladros limita el avance máximo por ronda y debe adaptarse a las condiciones de perforación y limpieza, evitando desviaciones que comprometan la eficacia [25].

La elección del explosivo es otro factor crucial, ya que sus propiedades – como la velocidad de detonación, la brisancia y la densidad– influyen en la energía liberada y en la fragmentación de la roca. Explosivos de alta velocidad y brisancia son idóneos para rocas duras, aunque requieren una carga controlada para prevenir daños excesivos, mientras que aquellos con menor brisancia son más adecuados para contornos y requieren mallas más densas [25].

La secuencia de voladura, definida a través de retardos precisos entre los disparos, es vital para que cada taladro detone en el orden adecuado. Esta secuencia debe garantizar un alivio progresivo, permitiendo que las grietas se propaguen de manera óptima en la roca y evitando la detonación simultánea de taladros adyacentes, lo que podría resultar en una fragmentación ineficiente [26].

En el diseño también se debe considerar el confinamiento, a través del uso de taco inerte, que es fundamental para retener los gases hasta que la fractura se complete. La longitud del taco se determina en función de la

longitud del taladro y del acoplamiento entre el explosivo y el mismo, de modo que se maximice la eficiencia del disparo sin desperdiciar carga [26].

El diseño de la malla se plantea como un proceso multidisciplinario que integra la geomecánica, la ingeniería de explosivos y la geometría de la excavación. Este proceso iterativo se basa en cálculos empíricos y la experiencia práctica, permitiendo ajustar parámetros como el burden y el espaciamiento según el rendimiento observado en campo, optimizando tanto el consumo de explosivo como la productividad de la perforación.

En síntesis, una malla de perforación y voladura eficaz es aquella en la que cada cartucho de explosivo cumple su función sin generar sobre-rotura o desperdicio de energía. Los elementos críticos para su éxito incluyen una cara libre adecuada, un confinamiento correcto, una secuenciación temporal precisa y una interacción efectiva de las fracturas, garantizando así un avance seguro y eficiente en las operaciones subterráneas [27].

### **1.3.2. Mejora continua**

#### **1.3.2.1. Historia**

El origen de la mejora continua se remonta al movimiento de gestión de la calidad que emergió en Japón después de la Segunda Guerra Mundial, particularmente a partir de la fundación de la JUSE en 1949. Este organismo convocó a especialistas internacionales, como W. Edwards Deming y Joseph Juran, para implementar sistemas de control de calidad en la industria japonesa, destacando el uso del ciclo PDCA y un conjunto de 14 principios orientados a eliminar variaciones y fomentar la

implicación de los empleados. Dichas iniciativas sentaron las bases de una filosofía que impulsó el notable desarrollo económico del país, mientras que la labor de autores como Masaaki Imai, quien introdujo el término Kaizen, consolidó y difundió la noción de mejora continua como elemento clave para alcanzar la competitividad a nivel mundial [28]

Aunque los cimientos de la mejora continua, incluyendo el concepto de Kaizen, se establecieron en Estados Unidos a través de las aportaciones de expertos como Deming, no fue sino hasta finales de los años setenta e inicios de los ochenta que las empresas occidentales comenzaron a interesarse de manera significativa en estas ideas. El notable desempeño de la industria japonesa, ejemplificado por el Toyota Production System, impulsó a las compañías de Estados Unidos y Europa a revisar y actualizar sus prácticas, dando lugar a la adopción de la Gestión de Calidad Total (TQM) y a la difusión global de la filosofía Lean, que promueve la eliminación de desperdicios a través de la participación integral de los empleados [29]

Simultáneamente, se introdujo la metodología Six Sigma en Motorola en 1986, la cual se centraba en la mejora de procesos mediante la reducción de la variabilidad y la minimización de defectos, alcanzando niveles de calidad casi perfectos. Durante los años noventa, esta metodología se popularizó en empresas como General Electric, y a inicios del nuevo milenio se combinó con la filosofía Lean para formar el enfoque Lean Six Sigma, que integra la eficiencia de Lean con el análisis riguroso de Six Sigma. En la actualidad, los principios de mejora continua se han expandido más allá del ámbito manufacturero, siendo implementados en

sectores tan variados como los servicios, la salud, la construcción y la minería [28].

### **1.3.2.2. Definición**

La mejora continua se define en el texto como un proceso constante orientado a optimizar productos, procesos o servicios mediante pequeños cambios incrementales, en el que participan todos los niveles de la organización. Desde la perspectiva japonesa, este concepto se plasma en la filosofía Kaizen, que impulsa a la empresa a mejorar sistemáticamente cada aspecto relacionado con la transformación de insumos en productos, implicando tanto a directivos como a operarios en la eliminación de desperdicios y en la mejora de la eficiencia [30].

Asimismo, el texto diferencia claramente entre distintos enfoques metodológicos que, a pesar de sus particularidades, convergen en la búsqueda de la excelencia operativa. Se explica que mientras Kaizen se centra en un cambio diario y colectivo, Six Sigma propone una estrategia orientada a reducir la variabilidad y los defectos, estableciendo metas cuantificables (como alcanzar un nivel casi perfecto de  $6\sigma$ , es decir, no más de 3.4 defectos por millón de oportunidades). En paralelo, el enfoque Lean se dirige principalmente a eliminar actividades que no agregan valor y a optimizar la fluidez en la cadena de producción [30]

Por último, se presentan definiciones complementarias que refuerzan la naturaleza proactiva y sistemática de la mejora continua. La perspectiva Lean, junto con la normativa ISO 9001:2015, destaca la importancia de eliminar desperdicios y mejorar el desempeño para cumplir con los requisitos del cliente. En síntesis, el proceso de mejora continua se

caracteriza por ser una acción deliberada, estructurada y orientada a objetivos específicos, implementada mediante metodologías como el ciclo PDCA y el DMAIC, y que se integra de manera transversal en la estrategia de la organización para alcanzar un nivel de excelencia operacional sostenido [28].

### **1.3.2.3. Objetivos**

La mejora continua se presenta como una estrategia esencial para la optimización de los procesos industriales, centrada en aumentar la eficiencia, mejorar la calidad y reducir los costos de manera constante. Este enfoque permite lograr una mayor producción con un menor uso de recursos tales como tiempo, materiales y dinero, y minimiza la ocurrencia de errores y la necesidad de reprocesos, lo que se traduce en un sistema productivo más ágil y efectivo sin requerir grandes inversiones de capital. En este contexto, se subraya que la calidad de los productos y servicios se eleva mediante la reducción de la variabilidad en los procesos y la minimización de defectos. Metodologías como Six Sigma establecen objetivos cuantitativos para acercarse a la perfección operativa, lo que permite satisfacer y, en ocasiones, superar las expectativas del cliente, contribuyendo de forma decisiva a la mejora en la fiabilidad y rapidez de los procesos [31]

De igual manera, en industrias con características específicas como la minería y la industria pesada la mejora continua abarca también aspectos relacionados con la seguridad y las condiciones laborales. En estos sectores, la implementación de programas de mejora no solo optimiza la eficiencia, sino que también se orienta a reducir riesgos operativos y

prevenir accidentes, protegiendo tanto al personal como al entorno, lo cual es crucial en contextos de alto riesgo [32]

Los objetivos de la mejora continua se pueden resumir en incrementar la eficiencia, elevar la calidad, reducir costos, aumentar la productividad, asegurar la fiabilidad de las operaciones y mejorar la satisfacción del cliente. Estos fines guían la selección y ejecución de proyectos de mejora en las empresas, asegurando que cada iniciativa se alinee con la estrategia global del negocio y contribuya de manera significativa a su competitividad y liderazgo en el mercado [31].

Por último, cada proyecto de mejora continua se fundamenta en el establecimiento de indicadores específicos (KPIs) que permiten medir avances concretos, como la reducción en el tiempo de ciclo o la disminución de defectos por millón de oportunidades. El logro acumulativo de estos objetivos individuales conduce, en última instancia, a alcanzar metas estratégicas mayores, reafirmando la importancia de un enfoque sistemático y medible para la excelencia operativa en el ámbito industrial [32].

#### **1.3.2.4. Características**

La mejora continua se caracteriza por ser un proceso ininterrumpido que contrasta con las intervenciones organizacionales puntuales o radicales. Se concibe como una filosofía de trabajo permanente que no posee un inicio ni un fin definidos, sino que se manifiesta en la realización de mejoras diarias y acumulativas en la operatividad de la empresa. Este enfoque se fundamenta en la realización de pequeños avances que, implementados a corto plazo, van solucionando problemas específicos y

eliminando desperdicios. La acumulación de estas intervenciones incrementales, en lugar de cambios drásticos, permite una evolución sostenida del sistema productivo, lo que resulta en una adaptación más fluida y menos resistente al cambio [29].

La implementación de la mejora continua abarca todas las áreas de la organización, desde la producción hasta los departamentos de soporte. No se limita a un grupo especializado, sino que se extiende a toda la estructura empresarial, fomentando la participación de cada colaborador. La utilización de herramientas como los círculos de calidad y los equipos Kaizen ejemplifica cómo esta práctica se institucionaliza, promoviendo un ambiente colaborativo y de empoderamiento en el que cada miembro se involucra en la optimización de procesos [33].

Un rasgo esencial de este enfoque es su orientación a la causa raíz de los problemas. Mediante metodologías estructuradas, como el ciclo PDCA y técnicas de análisis como los 5 Porqués y el diagrama de Pareto, la mejora continua se basa en datos objetivos para identificar y corregir deficiencias de manera efectiva. Este enfoque analítico asegura que las intervenciones sean precisas y que se focalicen en aumentar las actividades que añaden valor, eliminando las que no contribuyen al desempeño global. El éxito de la mejora continua depende, además, del compromiso del liderazgo y del desarrollo de una cultura organizacional favorable. Las empresas que adoptan esta filosofía promueven valores como la apertura al cambio, la colaboración y el aprendizaje continuo, reconociendo y premiando las iniciativas de mejora. Esta integración de valores y prácticas contribuye a consolidar un entorno en el que la

búsqueda permanente de la excelencia se convierte en una práctica inherente y natural [31].

#### **1.3.2.5. Importancia**

La mejora continua se plantea no como una tendencia pasajera en la gestión empresarial, sino como una estrategia esencial para la supervivencia y el éxito en entornos competitivos. En un mercado donde la inacción implica perder terreno, la adopción de prácticas de mejora constante, basadas en la acumulación de pequeños cambios positivos (siguiendo los principios del Kaizen), se revela como determinante para diferenciarse y mantener la competitividad, tal como lo evidenciaron las empresas japonesas en los años setenta y ochenta [34]

Uno de los impactos inmediatos de implementar la mejora continua es el aumento en la eficiencia operativa y la productividad, lo que se traduce en una mayor rentabilidad. Al optimizar procesos y eliminar desperdicios mediante la aplicación de herramientas Lean, como 5S y TPM, las organizaciones consiguen generar un mayor output con los mismos o menores recursos. Estudios en sectores industriales, por ejemplo en minería, demuestran que estas prácticas pueden incrementar la productividad y reducir tiempos improductivos, repercutiendo positivamente en los indicadores financieros [34]

La calidad y la satisfacción del cliente son elementos intrínsecos a la filosofía de mejora continua. Este enfoque se centra en alcanzar niveles casi perfectos de calidad mediante la reducción de defectos y la uniformidad en los procesos, lo que resulta fundamental para cumplir y superar las expectativas de los clientes. Al lograr una producción más

fiable y ágil, las empresas fortalecen su reputación y fidelizan a sus consumidores, consolidando así su posición en mercados globales altamente competitivos [28]

En sectores de alto riesgo, la mejora continua cobra especial relevancia para garantizar la seguridad operacional y el cuidado del medio ambiente.

La implementación de procesos sistemáticos para identificar y corregir condiciones inseguras permite transformar un enfoque reactivo en uno preventivo, reduciendo significativamente el índice de accidentes y mejorando la gestión de riesgos. Además, la mejora progresiva en la gestión ambiental contribuye a minimizar emisiones, desperdicios y consumos energéticos, promoviendo la sostenibilidad y reduciendo los costos asociados a incidentes y sanciones [28]

La adopción de la mejora continua también tiene un impacto profundo en la cultura organizacional y en el desarrollo del capital humano. Fomentar un ambiente en el que se valora la innovación, el aprendizaje y la colaboración permite que los empleados se involucren activamente en la identificación y solución de problemas, incrementando su motivación y compromiso. Este enfoque no solo eleva la moral interna, sino que también atrae a profesionales con mentalidad de crecimiento, lo que refuerza la capacidad de la organización para innovar y adaptarse constantemente [33].

Por último, el éxito de la mejora continua se valida mediante los resultados obtenidos por organizaciones reconocidas a nivel mundial, como Toyota, Motorola y General Electric, que han alcanzado hitos destacados en términos de calidad, reducción de costos e innovación. La evidencia

empírica respalda la idea de que la implementación sistemática de pequeños avances acumulativos actúa como un catalizador de cambios positivos, constituyendo un pilar indispensable para el desarrollo de empresas de alto desempeño y resilientes a largo plazo [28].

#### **1.3.2.6. Ventajas**

La implementación de la mejora continua se presenta no como una simple tendencia pasajera en la gestión, sino como una estrategia esencial y necesaria para las empresas actuales. Se destaca que, en contraposición a los métodos tradicionales y rígidos, este enfoque ofrece beneficios tanto en el ámbito competitivo como en el operativo, estableciendo una base sólida para el éxito organizacional [29]

Entre las ventajas fundamentales se encuentra la generación de una ventaja competitiva perdurable. La aplicación constante de mejoras en aspectos como el costo, la calidad y el servicio permite a la organización adelantarse a sus competidores. Tal enfoque, inspirado en la filosofía Kaizen, actúa de manera dual: protege a la empresa de la inercia y la complacencia, al mismo tiempo que la impulsa a superar continuamente los estándares del mercado [29]

El enfoque de mejora continua favorece además una alta adaptabilidad y agilidad organizacional. Al instaurar una cultura en la que se revisan y perfeccionan de forma constante los procesos, el personal se acostumbra a evaluar críticamente su trabajo, lo que facilita respuestas rápidas ante cambios inesperados en el entorno, como nuevas normativas o innovaciones tecnológicas. Esta capacidad de ajuste reduce la resistencia

y optimiza la toma de decisiones mediante el uso de datos y la experiencia acumulada [29].

El desarrollo y la participación del capital humano constituyen otra ventaja esencial. La filosofía de mejora continua transforma a los empleados en participantes activos en la optimización de sus tareas, lo que genera un ambiente laboral positivo y colaborativo. La existencia de mecanismos para la aportación de ideas—como reuniones dedicadas o buzones de sugerencias y el reconocimiento de las contribuciones individuales fortalecen la motivación, reducen la rotación y desarrollan habilidades técnicas y de liderazgo en el equipo [29].

Además, la mejora continua promueve una gestión basada en datos, permitiendo una toma de decisiones más precisa y proactiva. La sistematización del uso de indicadores y herramientas analíticas, tales como el análisis estadístico y los tableros de desempeño, permite a la organización anticipar problemas y detectar tendencias emergentes. Esto contrasta con un modelo reactivo en el que las correcciones se realizan una vez que los problemas se han materializado [29].

También se destaca que, si bien la mejora continua se centra en cambios graduales, estos pueden conducir a innovaciones significativas a lo largo del tiempo. La acumulación de mejoras incrementales y la constante experimentación fomentan un entorno en el que se estimula la creatividad y se generan innovaciones de mayor envergadura. La integración de prácticas Kaizen con programas orientados a cambios radicales (Kaikaku) permite a la empresa mantenerse a la vanguardia y evitar el estancamiento tecnológico [29].

Otra ventaja destacada es la durabilidad de los resultados obtenidos. Al incorporar mecanismos para la estandarización y seguimiento de las mejoras, como lo establece el ciclo PDCA y el proceso DMAIC, las mejoras se institucionalizan y se convierten en el nuevo estándar operativo. Este enfoque asegura que los beneficios alcanzados en términos de productividad, calidad y seguridad se mantengan y se potencien con el tiempo, evitando recaídas en prácticas antiguas [29].

Por último, la adopción de la mejora continua repercute positivamente en la imagen de la empresa y en sus relaciones con los distintos grupos de interés. Las organizaciones que practican esta filosofía son vistas como líderes en eficiencia, innovación y calidad, lo que mejora su reputación frente a clientes, inversores y empleados. Además, esta disciplina facilita el cumplimiento de normativas y la obtención de certificaciones, fortaleciendo la cohesión interna y promoviendo un entorno colaborativo que resulta difícil de imitar en el corto plazo [29].

#### **1.3.2.7. Aplicación en el sector minero**

La industria minera, que tradicionalmente se ha caracterizado por procesos inflexibles y condicionados por factores geológicos y naturales, ha experimentado una transformación importante en la última década. Las compañías mineras han comenzado a incorporar la filosofía de la mejora continua en sus operaciones, inspirándose en modelos de excelencia de otros sectores, especialmente el manufacturero. Este cambio se ha materializado mediante la adopción de enfoques como Lean Mining y Minería Six Sigma, evidenciando casos de éxito significativos [32]

Se han implementado diversas herramientas Lean en el entorno minero, como la metodología 5S, que ha demostrado mejorar la organización, incrementar la seguridad y reducir tiempos improductivos al minimizar la búsqueda de herramientas en el lugar de trabajo. La integración de Lean Information Centers y el uso del mapeo de flujo de valor (VSM) en minas de diferentes minerales han permitido un mejor seguimiento del desempeño diario y la identificación de cuellos de botella, optimizando así los procesos operativos y reduciendo tiempos de ciclo [33].

La aplicación de eventos Kaizen también ha tenido un impacto notable en la minería, como se evidencia en casos reportados tanto en Chile como en estudios realizados en Europa. La participación activa de los trabajadores en talleres de mejora ha contribuido no solo a mejorar la productividad, sino también a potenciar las condiciones de salud y seguridad. Este enfoque subraya la importancia de combinar aspectos técnicos y humanos, integrando mejoras en procesos y en la cultura organizacional. Adicionalmente, la metodología de Mantenimiento Productivo Total (TPM) se ha implementado en diversas unidades mineras, logrando reducir significativamente los tiempos de reparación de equipos críticos y aumentando su disponibilidad operativa. Asimismo, proyectos Six Sigma aplicados en procesos metalúrgicos han permitido identificar y controlar variables clave, mejorando la recuperación de metales y la consistencia del proceso, lo cual ha generado beneficios económicos considerables [34].

Varias empresas mineras de renombre mundial han incorporado la mejora continua en sus estrategias corporativas. Por ejemplo, compañías como

Rio Tinto y BHP Billiton han desarrollado programas de excelencia operativa que incluyen la formación de especialistas en metodologías Lean y Six Sigma. El caso de Minera Chinalco en Perú ilustra este enfoque, donde se estableció un programa de mejora continua estructurado en pilares fundamentales, logrando beneficios financieros significativos y la participación de más de 400 colaboradores en proyectos de optimización. No obstante, la implementación de la mejora continua en el sector minero enfrenta desafíos particulares. La naturaleza variable del entorno minero, con condiciones geológicas y climáticas impredecibles, complica la aplicación directa de herramientas desarrolladas para entornos más controlados, como las fábricas. Por ello, es fundamental adaptar estas metodologías a las condiciones específicas de cada mina y capacitar al personal para superar las barreras culturales y técnicas inherentes a este sector. El éxito de estas iniciativas depende en gran medida del compromiso de la alta gerencia y de la integración de la mejora continua en la estrategia global de la empresa. La adopción superficial de herramientas sin un cambio cultural profundo puede limitar los resultados, mientras que los casos exitosos demuestran que alinear los proyectos de mejora con los objetivos estratégicos y fomentar la participación en todos los niveles organizativos se traduce en mejoras sostenibles y significativas [35].

En conclusión, la mejora continua se ha consolidado como un componente esencial en la gestión moderna de la minería, pasando de ser una innovación aislada a un elemento estructural en las operaciones mineras de clase mundial. La transferencia de prácticas exitosas de otros

sectores, adaptadas al contexto minero, ha permitido aumentar la productividad, mejorar la seguridad y optimizar la eficiencia. Además, la colaboración inter-industrial y la constante capacitación han contribuido a que la mejora continua se integre de manera efectiva en la cultura organizacional, generando valor tangible y posicionando a las empresas mineras a la vanguardia de la innovación y la excelencia operativa [35].

#### **1.3.2.8. Aplicación en la perforación y voladura**

Se analiza la relevancia de los procesos de perforación y voladura en la minería, resaltando que estos procedimientos son esenciales, ya que su desempeño afecta directamente etapas posteriores como el carguío, el transporte y el chancado, así como la seguridad global en la mina. Aunque en el pasado se consideraban más un arte basado en la experiencia, en años recientes se han sometido a procesos de mejora continua para hacerlos más predecibles y eficaces [36]

Se detalla la optimización de la eficiencia en la perforación, ejemplificada por un estudio de caso en una mina subterránea colombiana en el que se aplicó la metodología Kaizen. Este estudio se centró en aumentar el KPI relacionado con la eficiencia, midiendo la relación entre los metros perforados y los planificados, y en reducir el consumo energético. Mediante el análisis de indicadores históricos y la aplicación de ciclos PDCA, se identificaron y abordaron brechas en el rendimiento, logrando una mejora sustancial en la operación [37]

La voladura de rocas se describe a continuación, haciendo énfasis en la necesidad de controlar la fragmentación y la variabilidad inherente a cada disparo. Se menciona la implementación de ciclos PDCA para evaluar

parámetros críticos como la fragmentación, el perfil del banco remanente y la dilución, ajustando de manera continua aspectos como el patrón de taladros y el factor de carga explosiva. La incorporación de tecnologías digitales y de análisis de datos ha permitido optimizar el diseño de voladuras en tiempo real [37]

Asimismo, se aborda la reducción de demoras y desperdicios en el ciclo combinado de perforación y voladura mediante la aplicación de principios Lean. Se destacan prácticas innovadoras, como el uso de drones para levantamientos topográficos y la estandarización de formatos en los procesos de diseño, lo que ha permitido eliminar tiempos de espera y duplicidades en las mediciones. La técnica de perforación de doble banco, por ejemplo, ha mejorado la predictibilidad del mineral enviado a planta al exponer mayor cantidad de material en menos disparos [36]

Se resalta la importancia de mejorar la seguridad en los procesos de perforación y voladura, dada la peligrosidad inherente al manejo de explosivos y equipos pesados. La implementación de tecnologías remotas, como sistemas de voladura inalámbrica y equipos teleoperados, ha permitido disminuir la exposición del personal en zonas de alto riesgo. Estas innovaciones no solo incrementan la seguridad, sino que también mejoran la eficiencia operativa al reducir el número de trabajadores en áreas peligrosas [37].

La aplicación de metodologías Six Sigma se utiliza para abordar problemas recurrentes en los procesos de perforación y voladura. Se presenta un ejemplo en el que, a través del enfoque DMAIC, se analizaron datos de numerosos barrenos para identificar las causas de fallas en la

perforación, lo que llevó a implementar un plan de mantenimiento preventivo para el reemplazo de brocas. Este método redujo significativamente los fallos, demostrando la efectividad de la recopilación y análisis de datos en la mejora de la calidad de los resultados [36], [37]

La integración de los procesos de perforación y voladura en un ciclo minero continuo es otro aspecto crucial. Se destacan indicadores integrados, como el costo por tonelada fragmentada y el porcentaje de fragmentación adecuada, que promueven la colaboración entre diferentes equipos, desde ingenieros y perforistas hasta personal de mantenimiento. Proyectos multidisciplinarios han permitido ajustar y optimizar el ciclo completo, garantizando una mejora integral en la operación. Se enfatiza que los mayores avances se logran combinando la experiencia práctica de los operarios con métodos de mejora continua. La estandarización de procedimientos, como la secuencia de carga de taladros y el etiquetado adecuado de conexiones, ha permitido reducir errores y "tiros colgados". Esta sinergia entre el conocimiento empírico y el enfoque sistemático ha sido clave para transformar procesos antes inestables en operaciones más eficientes [36]

Los beneficios derivados de estas mejoras se traducen en reducciones de costos, incrementos en la productividad y una mayor estabilidad en los procesos, evidenciando que las intervenciones aplicadas han tenido un impacto positivo en la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras. La aplicación coordinada de metodologías Kaizen, Lean y Six Sigma ha permitido optimizar tanto la eficiencia operativa como la calidad del resultado, contribuyendo a un control más riguroso de las voladuras. En

conclusión, se demuestra que la mejora continua en los procesos de perforación y voladura ha transformado una actividad tradicionalmente basada en la experiencia individual en un proceso sistematizado y medible. La integración de herramientas teóricas y tecnológicas ha llevado a estabilizar y optimizar un proceso que, aunque sujeto a la variabilidad geológica, puede alcanzar niveles altos de eficiencia y seguridad, consolidándose como una práctica fundamental en la minería moderna [37]

#### **1.4. Formulación de los problemas**

##### **1.4.1. Problema general**

¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?

##### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?
- ¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?
- ¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en perforación y voladura – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?

#### **1.5. Justificación**

Justificación práctica. Mejorar las operaciones de perforación y voladura de rocas mediante mejora continua es esencial para mejorar los parámetros de desempeño operativo. Al concentrarse en los metros avanzados por disparo, el

objetivo es optimizar el rendimiento de cada ciclo de voladura, lo que influye directamente en el cronograma de extracción y la eficiencia general de la operación minera. Minimizar la sobreexcavación mejora la estabilidad de las paredes de los pozos y galerías, lo que reduce los riesgos operativos y mantiene la integridad de la masa rocosa adyacente, lo que fomenta un entorno más seguro para los trabajadores y el equipo. Además, la capacitación operativa garantiza que los empleados adopten las mejores prácticas y metodologías contemporáneas, lo que facilita una mayor precisión en la regulación de los parámetros de perforación y voladura. En conjunto, estas medidas producen un proceso más eficiente y sostenible adaptado a las características geotécnicas de cada operación minera.

**Justificación económica.** Desde una perspectiva económica, las mejoras continuas en la perforación y voladura reducen sustancialmente los gastos operativos y aumentan la rentabilidad. Al aumentar los metros de avance en cada disparo, se mejora la utilización de explosivos y recursos relacionados, lo que da como resultado una extracción superior con una menor inversión por ciclo. La minimización de la sobreexplotación reduce la cantidad de material extraño que requiere transporte y procesamiento, lo que resulta en menores gastos de transporte y tratamiento. Por el contrario, la capacitación operativa es una inversión estratégica que mitiga los errores operativos, extiende la vida útil de los equipos y promueve un uso más eficiente de los recursos, evitando así pérdidas económicas resultantes de fallas técnicas o diseños de voladuras subóptimos. Estas mejoras integradas refuerzan la competitividad de la operación minera al establecer un equilibrio entre eficiencia, seguridad y rentabilidad.

Fundamentación de su metodología. Además de contar con un diseño metodológico propio y hacer uso de instrumentos confiables y legítimos en la industria minera, el método científico, que es un enfoque de investigación integral, sirve como base para este estudio. Esto permitirá cumplir con los objetivos particulares de investigación que se han predeterminado.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.
- Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.
- Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en perforación y voladura – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis específica**

La aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023

### **1.7.2. Hipótesis específica**

- La aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.

- La aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.
- La aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en perforación y voladura – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.



## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### 2.1. Lugar de estudio

La Unidad Minera Catalina Huanca se ubica en el distrito de Canaria, provincia de Víctor Fajardo, en la Región Ayacucho, a una altitud aproximada de 3200 msnm y con coordenadas UTM en el sistema WGS 84 de N 8' 538,000 y E 616,000. Esta área de estudio se encuentra en un entorno claramente delimitado por criterios geográficos y administrativos, lo que permite identificar de manera precisa el marco territorial y altimétrico del proyecto minero.

El acceso a la unidad se realiza desde Lima mediante la Carretera Panamericana Sur y la Vía los Libertadores hasta la ciudad de Ayacucho, continuando por las localidades de Cangallo, Huancapi, Cayara, Hualla, Canaria y Taca hasta llegar a la Mina Catalina Huanca y la Planta Concentradora San Jerónimo, cubriendo un trayecto aproximado de 693 km en 13 horas de viaje en camioneta. Adicionalmente, se dispone de una ruta alternativa, actualmente utilizada para el transporte de concentrado de mineral, que también se efectúa a través de la Carretera Panamericana Sur.

### 2.2. Tipo de investigación

Aplicada. El objetivo principal de la investigación aplicada es proporcionar respuestas prácticas y efectivas a problemas particulares en entornos del mundo real. Este estudio tiene como objetivo mejorar cuantitativamente los indicadores de progreso en las operaciones mineras, en particular mediante el uso de la mejora continua en la perforación y voladura de rocas [38].

### 2.3. Nivel de investigación

Nivel descriptivo explicativo [39], descriptivo, porque se centra en dilucidar y definir determinados sucesos, procesos o situaciones a medida que ocurren,

ofreciendo una perspectiva clara y completa sobre los componentes pertinentes del tema de investigación. Mientras que explicativo, porque este método aborda indagaciones sobre "qué" y "cómo" ocurre un suceso. Tiene como objetivo determinar las causas y consecuencias asociadas a los fenómenos investigados, mejorando la comprensión de las interrelaciones entre las variables. Esta metodología aborda indagaciones sobre las razones y mecanismos detrás de los sucesos observados.

#### **2.4. Diseño de investigación**

Diseño comparativo transversal, porque el propósito del estudio es confrontar o comparar uno o más grupos que tienen el problema de estudio con uno o más grupos que no tienen dicho problema. Esto se hace con el fin de identificar los factores que contribuyeron a la aparición del problema, tomando en consideración que los datos recolectados serán en un tiempo y espacio predeterminados [40].

#### **2.5. Población y muestra**

##### **2.5.1. Población**

El grupo objetivo de la investigación comprende un conjunto de elementos, individuos u objetos que comparten atributos específicos relacionados con una ubicación y un período determinados [41]. En ese sentido, la población estará conformada por todas las unidades mineras de producción, en el cual Famesa Explosivos Perú S.A.C. ejecuta labores de perforación y voladura de rocas, en el año 2023.

##### **2.5.2. Muestra**

La muestra del estudio se refiere a una porción seleccionada de la población total, elegida con el propósito principal de extrapolar los hallazgos a todo el grupo

[42]. En ese sentido, la muestra de estudio estará conformada por la Unidad de Producción Catalina Huanca, en el año 2023.

## **2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se utilizará el método de análisis documental, que supone la recolección y escritura de datos con el fin de facilitar la selección y organización del material [43]. Además, se usará la técnica de la observación directa [44], que es un método de recolección de datos mediante el cual el investigador observa de manera metódica y objetiva los sucesos, comportamientos o procesos tal como ocurren en su entorno natural o en un entorno controlado, sin intervenir ni manipular las variables. Este método facilita la adquisición de información completa y precisa sobre el mundo observado.

Los instrumentos utilizados serán los reportes e informes de perforación y voladura, además de las fichas de observación de la operación respecto a sus indicadores (metros de avance por disparo, Sobrerotura de labores y capacitaciones en perforación y voladura).

## **2.7. Técnicas de análisis e interpretación de datos**

El procesamiento de datos se llevará a cabo con el Microsoft Excel 2016, que permita analizar la estadística descriptiva de los datos para fines de demostración de la presente investigación.

- Revisión de datos: Consiste en examinar la información recolectada para identificar y corregir errores o faltas, y organizar los datos de manera coherente.
- Agrupación de datos: Se establecerán categorías específicas para clasificar las respuestas, donde cada una debe ser exclusiva.

- Organización de datos en tablas: Se procesarán y resumirán los datos utilizando herramientas informáticas para crear tablas estadísticas.
- Evaluación e interpretación de los resultados: Se realizará un análisis estadístico de los datos empleando técnicas descriptivas, como las medidas de tendencia central, para interpretar los hallazgos.



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Mejora continua en el proceso, mes de marzo

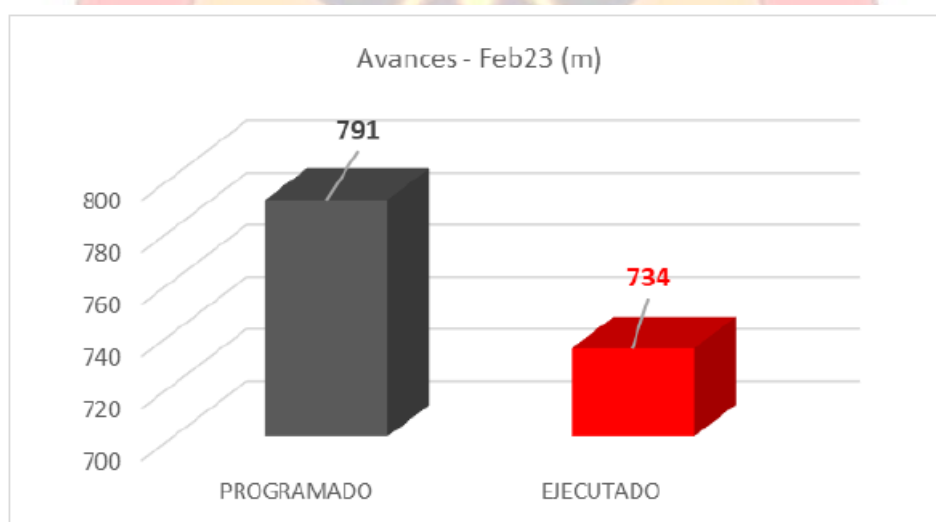
FAMESA en coordinación con las jefaturas de mina realiza trabajos de seguimientos y mejoras en los controles de la voladura. Por lo que plantea un trabajo de mejora con el fin de lograr mejoras en los procesos de Voladura.

Para el desarrollo del trabajo de mejoras se tiene la siguiente información base con la cual cuenta la UM:

- 03 jumbos frontoneros (02 con barra de 16 pies y 01 barra de 14 pies).
- Frentes (secciones 4.5 x 4.5; 4.5 x 5. 0; 4.0 x 4.0 x 4.0; 8.0 x 4.5).
- Diámetro taladro 45 mm,
- Diámetro de rimado 102 mm.
- Breasting: Diámetro 45 mm.
- Taladros Largos: Diámetro 64 mm.
- Tipo de Rocas: IIIB; IIIA, IVA, IVB
- Características de rocas: calizas, conglomerados

#### Análisis del estado actual

Según lo programado para estos dos meses tenemos lo siguiente:



En la figura se observa la comparación entre el avance programado y el avance ejecutado para febrero de 2023, medidos en una escala que alcanza valores cercanos a 800. La barra gris representa el valor planificado (791), mientras que la barra roja muestra el valor finalmente alcanzado (734). Esta diferencia de 57 unidades (o cerca de un 7% del valor programado) sugiere que no se logró cumplir totalmente con las metas establecidas para el periodo. Sin embargo, el nivel de ejecución se aproxima de manera relativamente cercana al objetivo, lo que puede indicar que, pese a algunos retrasos o contratiempos, el desempeño mantuvo un ritmo de avance significativo.

### Trabajos realizados

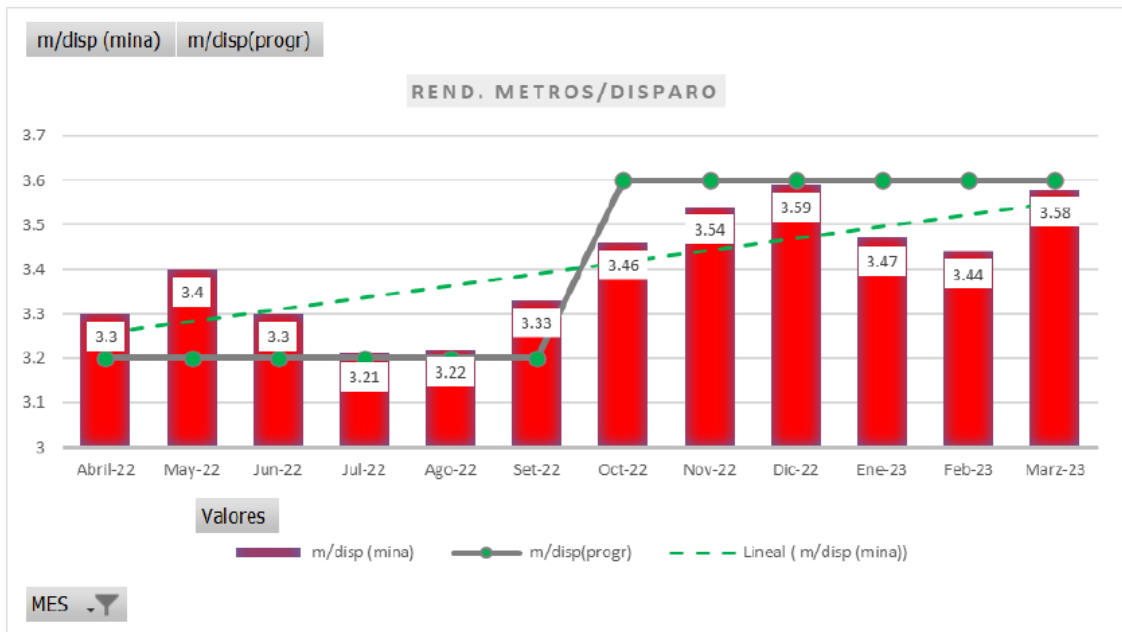
Para la mejora de los avances se tiene planteado como mejora la implementación el siguiente proceso operativo correcto:

Detalle	Ítem	Descripción
PERFORACION	1	Punto de dirección Gradiente
	2	Pintado de malla
	3	Guiadores de perforación
	4	Plantilla de arranque
	5	Malla Estándar
	6	Longitud Efectiva De Perforación /marcar
	7	Taladros de alivio de Contorno
	8	Entubado de taladros
CARGUIO	9	Limpieza y sopleto de los taladros
	10	Cucharillas 3m , 2m
	11	Atacador 3m
	12	Tacos de Arcilla
	13	Manguera antiestática , Cargador de anfo , Cintas reflectivas
	14	Flexómetros , Arco de sierra , punzón de cobre
	15	Uso de explosivos de voladura controlada
	16	Carguío a horario adecuado



### Resultados obtenidos al mes de marzo

En la figura se aprecia la evolución del rendimiento en metros por disparo (m/disp) a lo largo de un periodo comprendido entre abril de 2022 y marzo de 2023. Las barras rojas representan los valores reales, mientras que la línea negra indica los valores programados, complementados por una línea de tendencia en verde que describe la progresión del rendimiento real. Se observa un comportamiento inicial ligeramente inestable entre abril y agosto de 2022 (con valores cercanos a 3.2-3.3 m/disp), seguido de un repunte notable a partir de septiembre, alcanzando picos en noviembre y diciembre (cerca de 3.52 y 3.59 respectivamente). Posteriormente, existe una pequeña fluctuación en enero y febrero de 2023, pero la tendencia vuelve a subir en marzo, llegando a 3.58 m/disp, lo que sugiere una tendencia general al alza a lo largo del periodo.



**Figura 1.** Rendimiento metros/disparo marzo 2023

Debido a los tipos de terrenos variados (IIIB, IVA, IVB) las longitudes de perforación en cada tipo de terreno tienen variación por lo que el rendimiento no puede ser interpretado de la misma manera.

El área de planeamiento sugirió la siguiente tabla para la obtención del rendimiento real diario:

Long. Perf.	Valor	Descripción
L-14/16	1.0	Frente Roca - Competente (IIIB)
L-12	0.9	Frente Roca - Competente (IVB)
L-10	0.8	Frente Roca - Incompetente (IVA,IVB)
L-8	0.5	Selladas , Nichos

**Figura 2.** Longitud de perforación y, valor y descripción de la roca

El objetivo de eficiencia en base a esta tabla es de 3.6 m/disparo. Y los disparos tendrían las siguientes longitudes reales:

- Longitud de 14 y 16 pies frentes completos roca tipo IIIB.
- Longitud de 12 pies frentes completos roca tipo IIIB y IVA.

- Longitud de 10 pies para frentes con rocas tipo IVA, IVB.
- Longitud de 8 pies selladas y nichos

### **Resumen de eficiencia obtenida entre febrero y marzo 2023**

Los resultados obtenidos durante el servicio POST-VENTA son lo siguiente:

Promedio mina: 3.42 m/disparo (cumplimiento 95%)

Promedio FAMESA: 3.56 m/disparo (cumplimiento 99%)

Durante los días de servicio de POST-VENTA se han logrado un incremento en el rendimiento de un 4%. Teniendo como fecha inicial del servicio postventa 17marz23 hasta 18marz23 (fechas de control).

### **Resultados obtenidos**

Se empezó hacer los seguimientos de forma continúa teniendo en consideración los siguiente:

Implementación de las nuevas mallas de perforación – Avances.

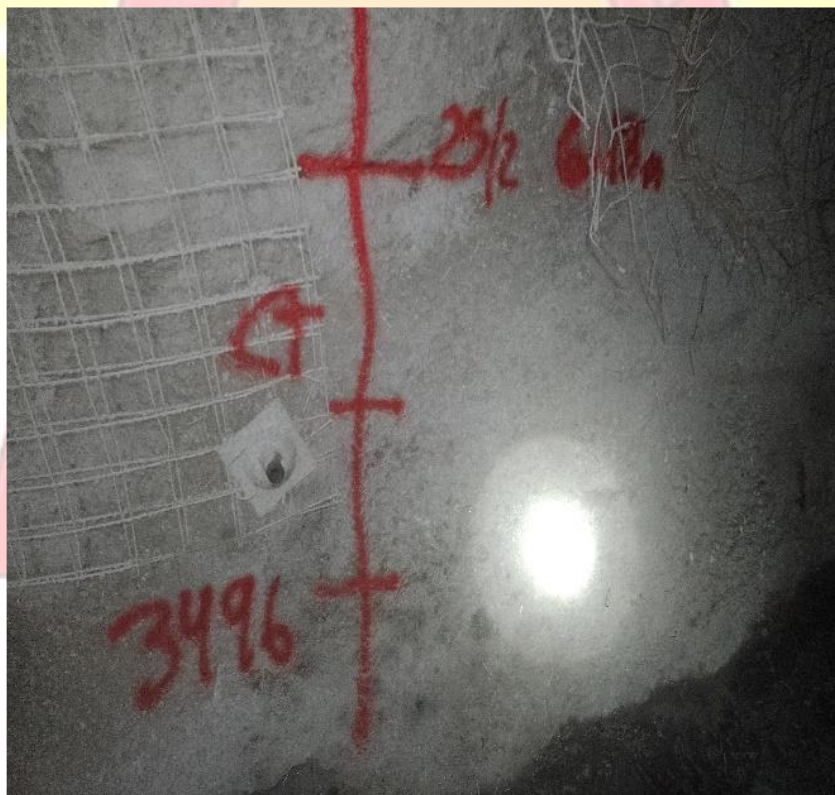
Uso Correcto de la perforación uso de guidores de forma continua por lo que se sugirió al área de mina su necesaria implementación.

Uso de tacos de arcilla de forma obligatoria en todos los frentes

Medición y puesta de contras en todos los frentes de avances para el control real de los avances (Control por parte de los jefes de sección).



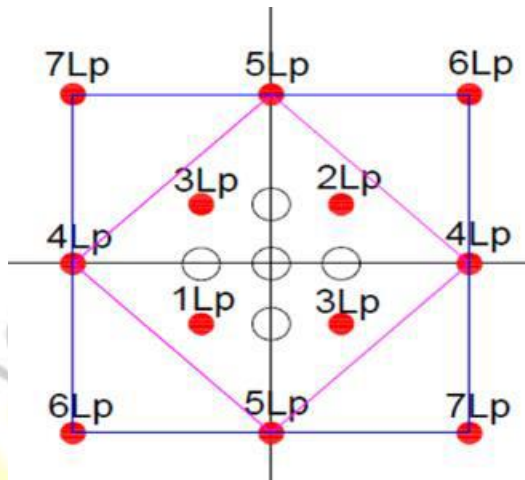
**Figura 3. Marcado de mallas, marzo**



**Figura 4. Marcado de contras, marzo**

Es necesario el uso continuo de la siguiente forma:

Tacos de arcilla de forma obligatoria:



**Figura 5.** Corte propuesto, marzo

- Arranque – 04 taladros.
- Ayuda – 04 taladros.
- Sobre-Ayuda – 04 taladros.

Se sugirió el aumento del uso de los tacos de arcilla en mayor cantidad hasta 250 tacos/día en un promedio de 10 frentes.

También es de suma importancia la implementación de los guiadores de perforación en un total de 02 jumbos. 04 guiadores por equipos y un juego adicional de stan by haciendo un total de 12 unidades.

## Nuevo diseño de mallas utilizadas

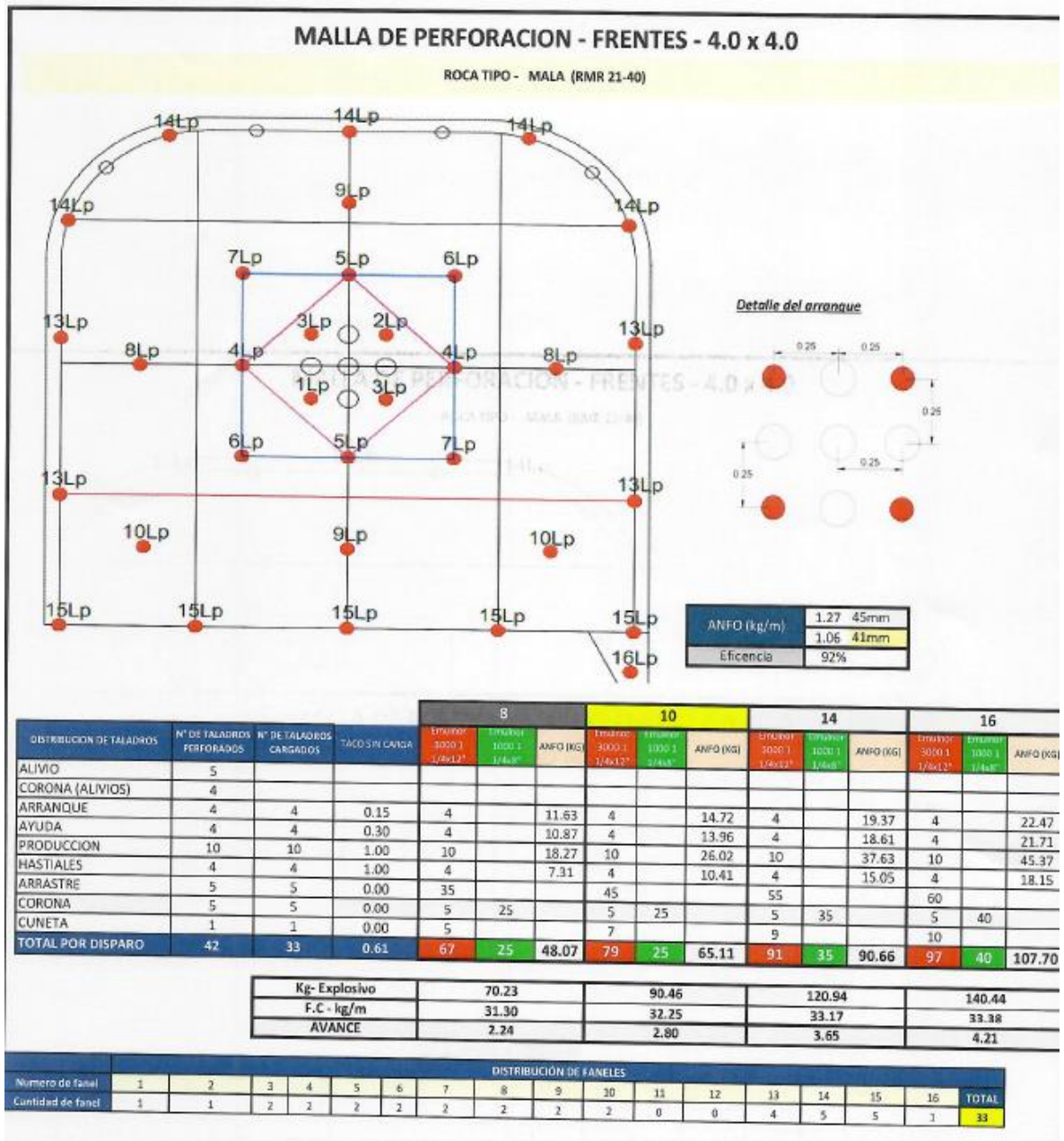
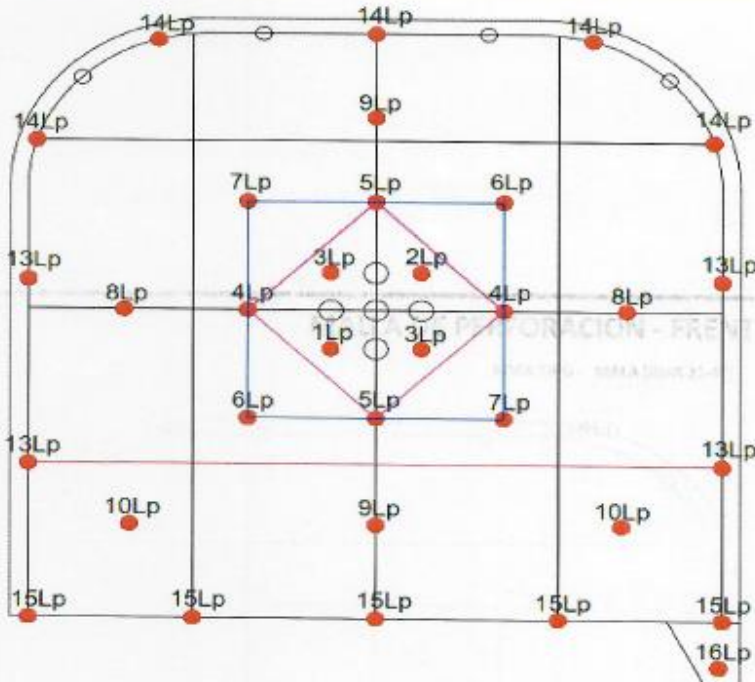


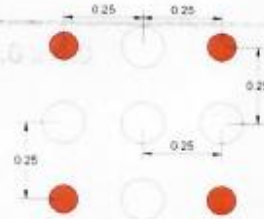
Figura 6. Malla de perforación ANFO, frentes 4x4, RMR 21-40

## MALLA DE PERFORACION - FRENTES - 4.0 x 4.0

ROCA TIPO - MALA (RMR 21-40)



*Detalle del arranque*



ANFO (kg/m)	1.27	45mm
	1.06	41mm
Eficiencia	92%	

DISTRIBUCION DE TALADROS	N° DE TALADROS PERFORADOS	N° DE TALADROS CARRADOS	TACO SIN CARGA	8		10		14		16					
				Emulnor 3000 L / 24x12"	Emulnor 1000 L / 14x8"	ANFO (KG)	Emulnor 3000 L / 24x12"	Emulnor 1000 L / 14x8"	ANFO (KG)	Emulnor 3000 L / 24x12"	Emulnor 1000 L / 14x8"	ANFO (KG)			
ALIVIO	5														
CORONA (ALIVIOS)	4														
ARRANQUE	4	4	0.15	32		40		52			60				
AYUDA	4	4	0.30	32		40		52			60				
PRODUCCION	10	10	1.00	70		90		120			140				
HASTIALES	4	4	1.00	28		36		48			56				
ARRASTRE	5	5	0.00	35		45		60			70				
CORONA	5	5	0.00	5	25	5	25	5	35	5	45				
CUNETA	1	1	0.00	1		8		10			11				
<b>TOTAL POR DISPARO</b>	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>0.61</b>	<b>203</b>	<b>25</b>	<b>0.00</b>	<b>264</b>	<b>25</b>	<b>0.00</b>	<b>347</b>	<b>35</b>	<b>0.00</b>	<b>402</b>	<b>45</b>	<b>0.00</b>

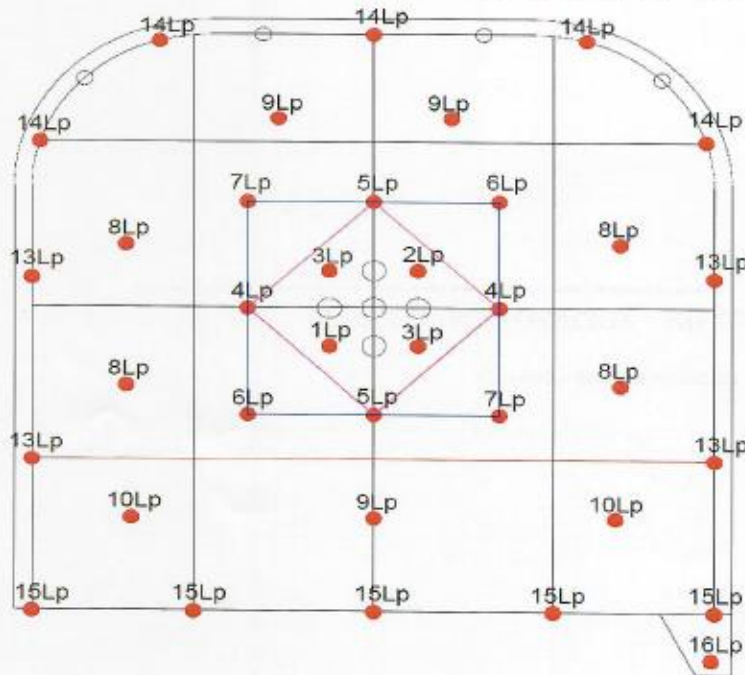
Kg- Explosivo	58.33	74.55	98.36	114.73
F.C - kg/m	26.00	26.58	26.98	27.27
AVANCE	2.24	2.80	3.65	4.21

Numero de fanel	DISTRIBUCION DE FANELES																TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Cantidad de fanel	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	4	5	5	1	33

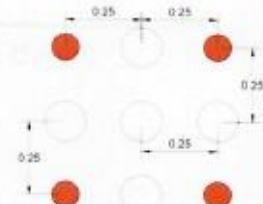
**Figura 7. Malla de perforación EMULNOR, frentes 4x4, RMR 21-40**

### MALLA DE PERFORACION - FRENTE - 4.0 x 4.0

ROCA TIPO - REGULAR (RMR 41-60)



Detalle del arranque



ANFO (kg/m)	1.27 45mm
	1.06 41mm
Eficiencia	92%

DISTRIBUCION DE TALADROS	N° DE TALADROS PERFORADOS	N° DE TALADROS CARGADOS	TADO SIN CARGA	8			10			14			16		
				Emulor 3000 l / 24x12"	Emulor 3000 l / 24x12"	ANFO (KG)	Emulor 3000 l / 24x12"	Emulor 1000 l / 14x12"	ANFO (KG)	Emulor 3000 l / 24x12"	Emulor 1000 l / 14x12"	ANFO (KG)	Emulor 3000 l / 24x12"	Emulor 1000 l / 14x12"	ANFO (KG)
ALIVIO	5														
CORONA (ALIVIOS)	4														
ARRANQUE	4	4	0.15	4		11.63	4		14.72	4		19.37	4		22.47
AYUDA	4	4	0.30	4		10.87	4		13.96	4		18.61	4		21.71
PRODUCCION	13	13	1.00	13		23.75	13		33.82	13		48.92	13		58.99
HASTIALES	4	4	1.00	4		7.31	4		10.41	4		15.05	4		18.15
ARRASTRE	5	5	0.00	35			45			55			60		
CORONA	5	5	0.00	5	25		5	25		5	35		5	40	
CUNETAS	1	1	0.00	5			7			9			10		
<b>TOTAL POR DISPARO</b>	<b>45</b>	<b>36</b>	<b>0.61</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>53.56</b>	<b>82</b>	<b>25</b>	<b>72.91</b>	<b>94</b>	<b>35</b>	<b>101.95</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>121.31</b>

Kg- Explosivo	76.51	99.06	133.03	154.85
F.C - kg/m	34.10	35.32	36.49	36.81
AVANCE	2.24	2.80	3.65	4.21

Numero de panel	DISTRIBUCION DE PANELES																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL
Cantidad de panel	1	1	2	2	2	2	2	4	3	2	0	0	4	5	5	1	36

Figura 8. Malla de perforación ANFO, frentes 4x4, RMR 41-60

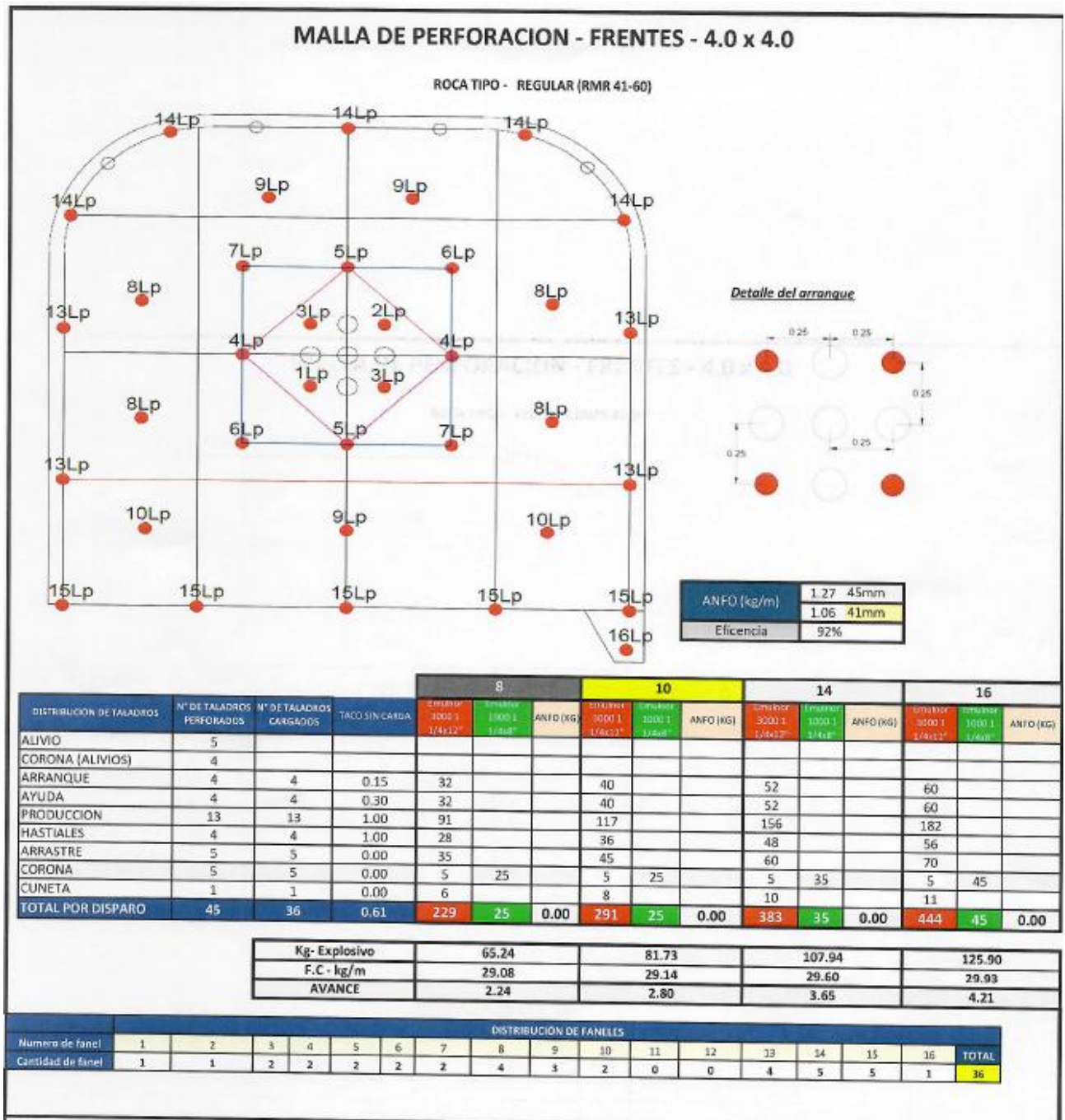


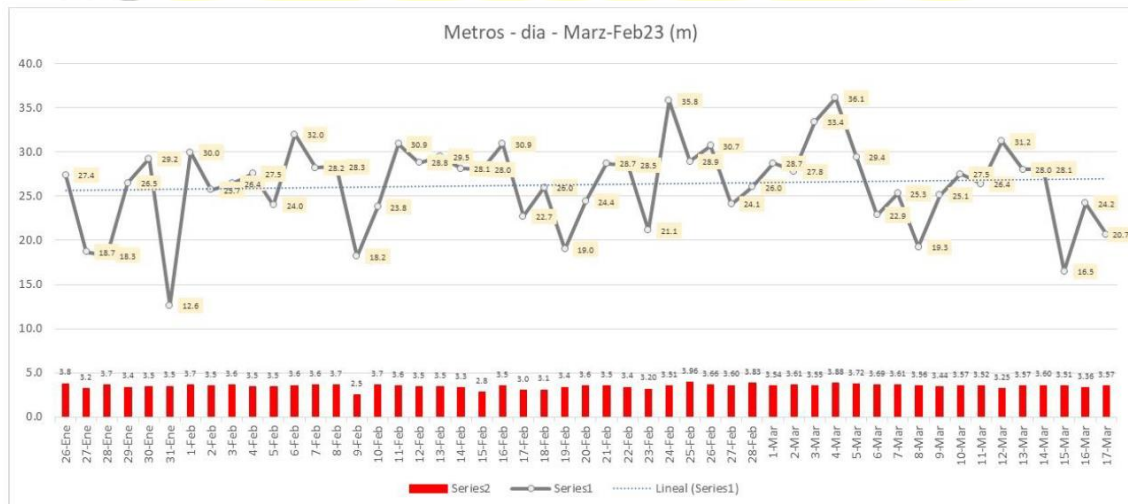
Figura 9. Malla de perforación EMULNOR, frentes 4x4, RMR 41-60

Este tipo de seguimiento diarios nos dio como resultado lo siguiente:

- Objetivo: 3.60 metros/disparo
- Real: 3.58 metros /disparo
- Eficiencia: 99%

Se tiene como objetivo 3.6 m/disparo Los rendimientos obtenidos en promedio para el cierre de marzo son de 3.58 m/disparo y 99% de eficiencia.

Los metros perforados están en un promedio de 26.3 m/día. Lo que nos da eficiencia de 88% del objetivo (30 m/día). La cantidad de frentes por guardia debe ser de 9 a 10 frentes mínimos



**Figura 10. Metros perforados hasta marzo 2023**

Se ejecuto los trabajos en el control de sobre rotura en los frentes de avances teniendo como resultado mejoras considerables cada mes. Para el control de la sobrerotura se tiene las siguientes leyendas:

**Tabla 1.**  
Sobre excavación permitida por tipo de roca, marzo 2023

% Sobre Excavación permitida Tipo de Roca	
<b>IVB</b>	<b>25%</b>
<b>IVA</b>	<b>15%</b>
<b>IIIB</b>	<b>10%</b>

El límite ha sido definido para cada tipo de roca (IVB, IVA, IIIB) por debajo de esto estará en un rango aceptable o nivel verde; por encima estará en un nivel rojo fuera del estándar.

**Tabla 2.**  
Resultados de límites de sobrerotura y sobre excavación, marzo 2023

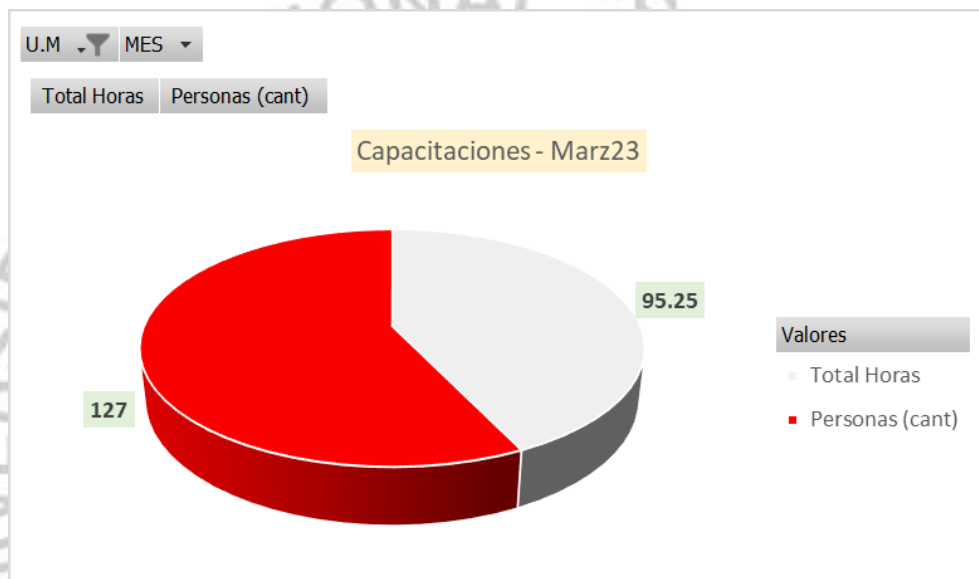
Mes	Tipo de roca	Labores con Sobrerotura	Prom % Sobr.	% permitido	Sobreexcavación
Jun-22	IIIB	3	14%	10%	4%
Jun-22	IVA	0	15%	15%	0%
Jun-22	IVB	1	29%	25%	4%
Jul-22	IIIB	2	15%	10%	5%
Jul-22	IVA	0	15%	15%	0%
Jul-22	IVB	0	25%	25%	0%
Ago-22	IIIB	0	10%	10%	0%
Ago-22	IVA	1	19%	15%	4%
Ago-22	IVB	0	25%	25%	0%
Set-22	IIIB	1	33%	10%	23%
Set-22	IVA	1	37%	15%	22%
Set-22	IVB	0	25%	25%	0%
Oct-22	IIIB	3	15%	10%	5%
Oct-22	IVA	2	32%	15%	17%
Oct-22	IVB	1	37%	25%	12%
Nov-22	IIIB	6	13%	10%	3%
Nov-22	IVA	1	26%	15%	11%
Nov-22	IVB	0	25%	25%	0%
Dic-22	IIIB	1	13%	10%	3%
Dic-22	IVA	3	23%	15%	8%
Dic-22	IVB	0	25%	25%	0%
Ene-23	IIIB	1	13%	10%	3%
Ene-23	IVA	3	18%	15%	3%
Ene-23	IVB	1	36%	25%	11%
Feb-23	IIIB	3	13%	10%	3%
Feb-23	IVA	1	23%	15%	8%
Feb-23	IVB	0	25%	25%	0%

## Capacitación

Para este mes se elaboró un programa de capacitación con el objetivo de lograr mejora en las operaciones de perforación y voladura.

Estas capacitaciones nos ayudaran que el personal cuente con el conocimiento de la forma correcta de los procesos de perforación y voladura e incluye aspectos técnicos.

Las capacitaciones realizadas hasta la fecha mes de marz-23 son los siguientes:



**Figura 11.** Cantidad de horas de capacitación, marzo 2023



**Figura 12.** Capacitación en sala, marzo 2023

### 3.2. Mejora continua en el proceso, mes de abril

#### Resultados m/disparos logrados hasta abril 2023

En la figura 9 se muestra dos métricas principales: las barras rojas (m/disp (mina)) representan el rendimiento mensual en metros por disparo, mientras que la línea verde punteada (m/disp (progr)) indica una medida acumulada o progresiva a lo largo del tiempo. Observando el periodo de abril de 2022 a abril de 2023, las barras rojas exhiben un patrón de variaciones moderadas con puntos bajos a mediados de 2022 (alrededor de 3,2) y un pico notable en octubre de 2022 (3,84). Posteriormente, en 2023, los valores mensuales se mantienen en torno a 3,4 - 3,6, lo que sugiere un nivel de rendimiento relativamente estable. A medida que se suman los datos mensuales, la media acumulada tiende a subir, lo que indica mejoras sostenidas en el proceso o en los parámetros operativos. Este acercamiento entre la medición mensual y la progresiva, sobre todo a partir de finales de 2022, sugiere que las mejoras no solo se presentan de manera puntual, sino que se consolidan en el tiempo, elevando el rendimiento general.

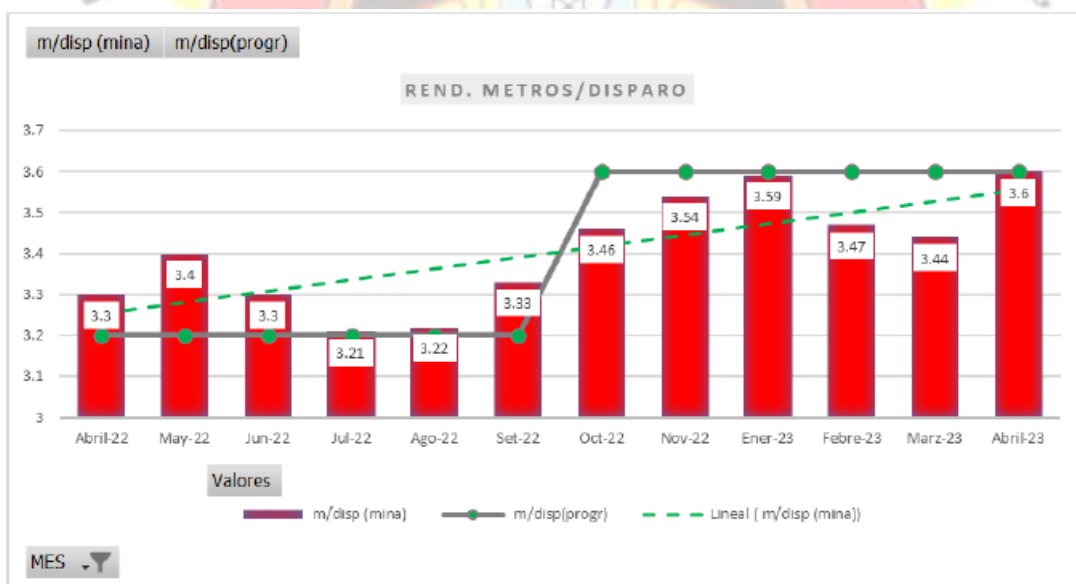
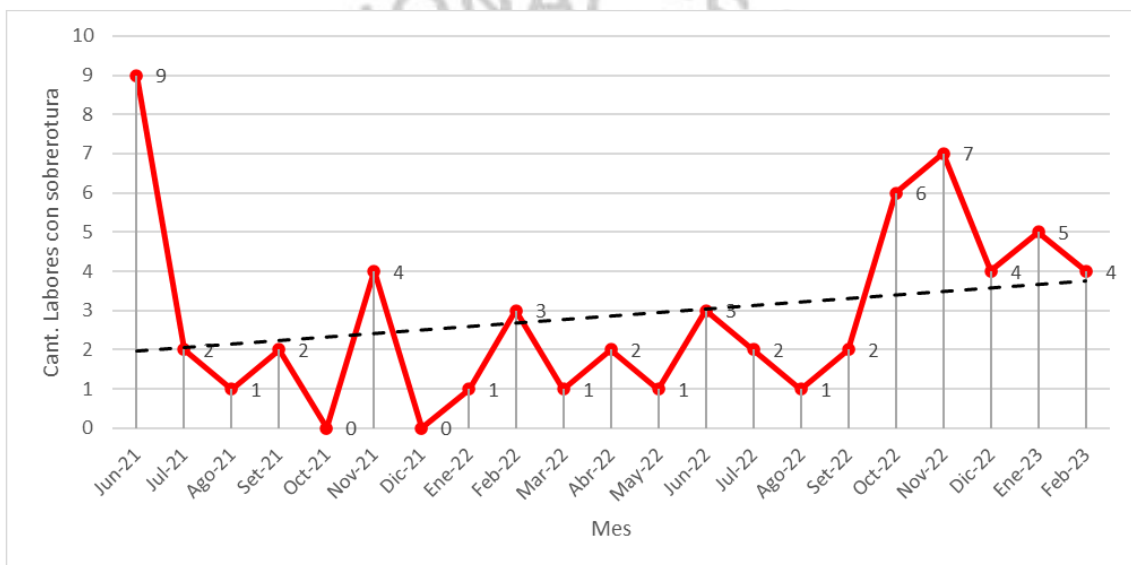


Figura 13. Rendimiento metros/disparo abril 2023

Los metros perforados están en un promedio de 26.3 m/día. Lo que nos da eficiencia de 88% del objetivo (30 m/día). La cantidad de frentes por guardia debe ser de 9 a 10 frentes mínimos.

### Sobrerotura

Se ejecuto los trabajos en el control de sobre rotura en los frentes de avances teniendo como resultado mejoras considerables cada mes.



**Figura 14.** Historial de sobrerotura - cantidad de labores con sobrerotura a controlar

Según lo analizado la tendencia se mantiene en reducción. El promedio general de labores a reducir en sobrerotura por mes se mantiene.

### Capacitación

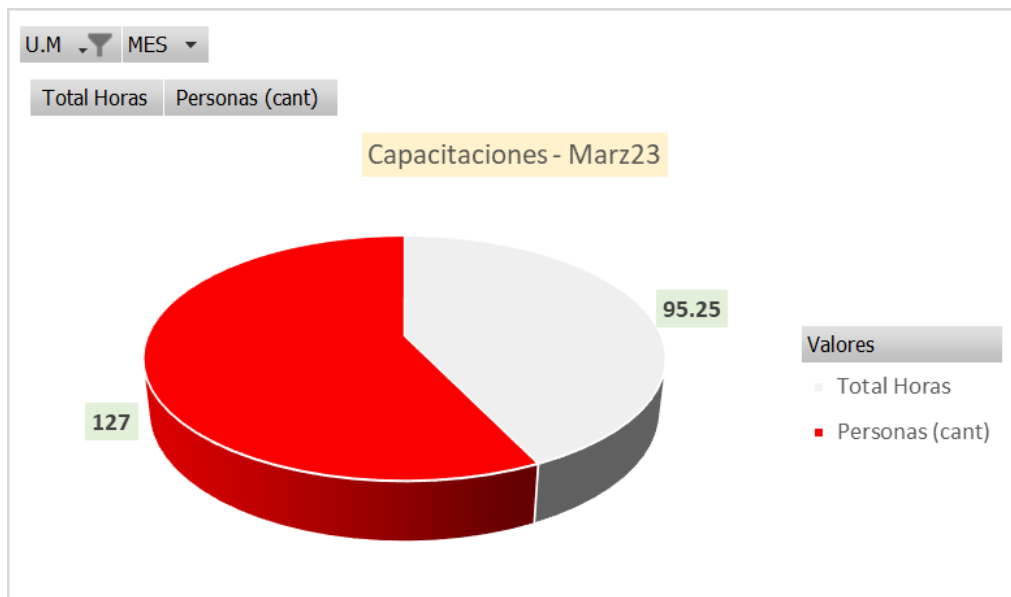
Estas capacitaciones nos ayudaran que el personal cuente con el conocimiento de la forma correcta de los procesos de perforación y voladura e incluye aspectos técnicos.

**Tabla 3.**  
*Plan de capacitación, abril 2023*

QUÉ		CÓMO			C
Objetivo	Meta	LUGAR	TEMA GENERAL	TEMA ESPECIFICO	Ejecutor
Objetivo 1- Mejoras en los Procesos de Perforacion y Voladura	Capacitar en todo el proceso de perforacion y voladura a todo el personal involucrado	Sala 0.90 u otros disponibles	VOLADURA - Parte I	Introduccion a la Voladura	Fredy Gaspar FAMESA
				Seguridad en el uso de Explosivos	Fredy Gaspar FAMESA
				Transporte y Almacenamiento de Explosivos	Fredy Gaspar FAMESA
			VOLADURA - Parte II	Tipos de Explosivos - Accesorios	Fredy Gaspar FAMESA
				Tipos de Explosivos - Explosivos	Fredy Gaspar FAMESA
				Unidades , Equivalencias usadas en el Proceso de Perforacion y Voladura	Fredy Gaspar FAMESA
				Aplicaciones , selección de los accesorios y explosivos según tipo de Voladura	Fredy Gaspar FAMESA
			VOLADURA - Parte III	Proceso correcto de perforacion	Fredy Gaspar FAMESA
				Proceso correcto de carguio	Fredy Gaspar FAMESA
				Desvios Perforacion y Voladura	Fredy Gaspar FAMESA
				PETS de Carguio	Fredy Gaspar FAMESA

Las capacitaciones realizadas hasta la fecha mes de abril-23 son los siguientes:

La figura muestra dos datos principales sobre las capacitaciones realizadas en marzo de 2023: la cantidad total de horas dedicadas (95,25) y el número total de personas que participaron (127). Visualmente, la porción en color rojo representa el número de participantes, mientras que la sección en color blanco corresponde a las horas de capacitación acumuladas. Aunque se trata de métricas distintas (horas vs. cantidad de personas), la gráfica ofrece un panorama rápido de la magnitud de cada indicador durante ese período.



**Figura 15.** Cantidad de horas de capacitación, abril 2023

### 3.3. Mejora continua en el proceso, mes de mayo

#### Resultados m/disparos logrados hasta mayo 2023

La figura muestra la evolución del rendimiento en metros por disparo (m/dis) desde una base de 3,20 hasta mayo de 2023. Se observa un aumento inicial en enero (3,59), seguido de una ligera disminución en febrero (3,47) y una recuperación estable en marzo y abril (3,50). Para mayo, el valor de 3,56 se acerca nuevamente al pico registrado en enero, lo que sugiere una tendencia de consolidación por encima de los 3,4 m/dis a lo largo de estos meses.

El hecho de que todos los valores posteriores a la base (3,20) se mantengan en niveles superiores evidencia un progreso constante respecto del punto de partida. Para afinar el análisis, sería recomendable estudiar los factores operativos o técnicos que han permitido sostener y afianzar estos niveles de

rendimiento, así como evaluar la posibilidad de elevar el objetivo para futuros períodos.

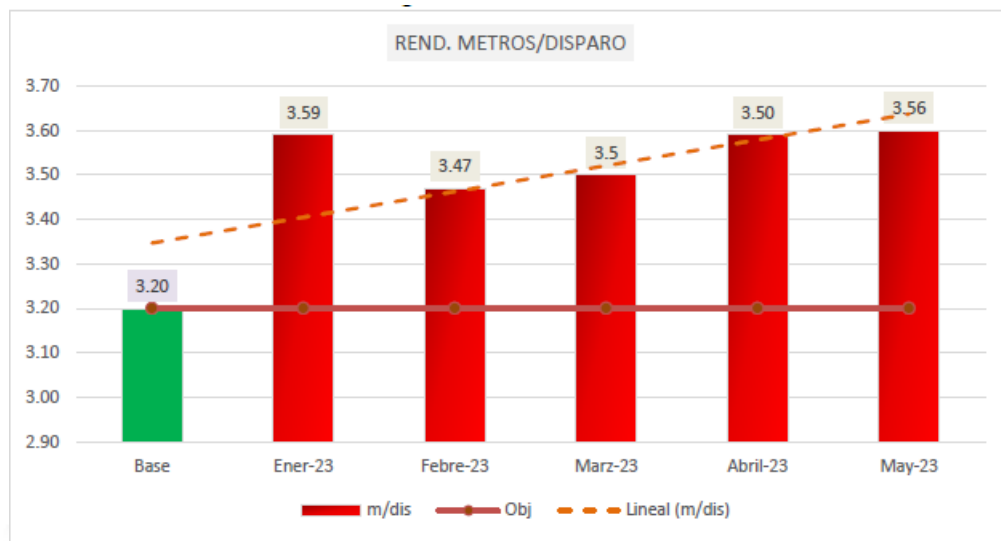


Figura 16. Rendimiento metros/disparo mayo 2023

### Sobrerotura

Tabla 4.  
Límites de sobrerotura y sobre excavación, mayo 2023

Mes	Tipo de roca	Labores con Sobrerotura	Prom % Sobr.	% permitido	Sobreexcavacion
Jun-22	IIIB	3	14%	10%	4%
Jun-22	IVA	0	15%	15%	0%
Jun-22	IVB	1	29%	25%	4%
Jul-22	IIIB	2	15%	10%	5%
Jul-22	IVA	0	15%	15%	0%
Jul-22	IVB	0	25%	25%	0%
Ago-22	IIIB	0	10%	10%	0%
Ago-22	IVA	1	19%	15%	4%
Ago-22	IVB	0	25%	25%	0%
Set-22	IIIB	1	33%	10%	23%
Set-22	IVA	1	37%	15%	22%
Set-22	IVB	0	25%	25%	0%
Oct-22	IIIB	3	15%	10%	5%
Oct-22	IVA	2	32%	15%	17%
Oct-22	IVB	1	37%	25%	12%
Nov-22	IIIB	6	13%	10%	3%
Nov-22	IVA	1	26%	15%	11%
Nov-22	IVB	0	25%	25%	0%
Dic-22	IIIB	1	13%	10%	3%
Dic-22	IVA	3	23%	15%	8%
Dic-22	IVB	0	25%	25%	0%
Ene-23	IIIB	1	13%	10%	3%
Ene-23	IVA	3	18%	15%	3%
Ene-23	IVB	1	36%	25%	11%
Feb-23	IIIB	3	13%	10%	3%
Feb-23	IVA	1	23%	15%	8%
Feb-23	IVB	0	25%	25%	0%

## Capacitación



Figura 17. Cantidad de horas de capacitación, mayo 2023



#### IV. CONCLUSIONES

- a) Se determinó que la aplicación de la mejora continua fortalece la perforación y voladura de rocas, pues los indicadores evaluados han cumplido a cabalidad lo proyectado, es decir, se encuentran por encima de lo programado, permitiendo alta sostenibilidad y calidad de operación de FAMESA explosivos, en el año 2023.
- b) Se determinó que la aplicación de la mejora continua influye positivamente en el indicador metros de avance por disparo de la perforación y voladura de rocas, pues se logró elevar en los meses de prueba a 3.56 metros/disparo que a su vez se encuentra por encima del mes febrero base de 3.44 metros/disparo, Famesa 2023.
- c) Se determinó que la aplicación de la mejora continua influye positivamente en el indicador sobrerotura de la perforación y voladura de rocas, pues más del 90% de la sobre excavación se encuentran por debajo del límite permitido, además, la cantidad de labores con sobrerotura se redujo a 4, Famesa 2023.
- d) Se determinó que la aplicación de la mejora continua influye positivamente en el indicador capacitación de la perforación y voladura de rocas, pues se alcanzó elevar de 95.25 horas capacitadas a 162.75 horas capacitadas en los meses de prueba, Famesa 2023.

## V. RECOMENDACIONES

- a) El proceso correcto recomendado tanto para la perforación y carguío se debe aplicar de forma continua para la obtención de las mejoras en los resultados.
- b) Las herramientas y materiales adicionales tanto para el proceso de perforación (guiadores), carguío (Tacos de arcilla), se deben utilizar de forma continua y obligatoria.
- c) Se debe marcar los puntos de contras para la medición de los avances esto por parte de los jefes de sección. De esta manera corroborar la longitud efectiva.
- d) Los guiadores deben ser usados de manera continua en todos los frentes de perforación. La mayoría de fallas en los disparos es por falta de paralelismo.
- e) Es necesario la revisión continua del estado del equipo Jumbo, porque los desperfectos mecánicos u otros conllevan a malos resultados en la voladura.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BBVA Reserarch, “Peru Mining sector outlook 2022”. Consultado: el 29 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2023/02/Peru\\_Mining\\_sector-1.pdf](https://www.bbvaresearch.com/wp-content/uploads/2023/02/Peru_Mining_sector-1.pdf)
- [2] International Trade Administration, “Mining Equipment and Machinery”. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/peru-mining-equipment-and-machinery>
- [3] K. Rojas, V. Aramburú, E. Ramos, C. Raymundo, y J. Moguerza, “Six Sigma-Based Optimization Modelin Hauling Cut and Fill Exploitation Activitiesto Reduce Downtime in Underground Minesin Peru”, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 365–375, 2019, Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-20494-5\\_34](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-20494-5_34)
- [4] International Mining, “Improving Drive Stability through Efficient Development Blasting Design and Practices (Fragblast conference report)”, *International Mining Magazine*. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://miningquiz.com/pdf/Blasting/fragmentation.pdf#:~:text=developme nt%20mining%2C%20which%20was%20averaging,In%20optimising>
- [5] R. Romaní, “Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avances y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A. (Tesis de pregrado)”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2019. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5133#:~:text=Anday chagua%20de%20Volcan%20Compa%C3%B1%C3%ADa%20Minera,ma llas%20de%20perforaci%C3%B3n%20y%20voladura>

- [6] R. Villar, “Ciclo de mejora continua para optimizar perforación y voladura en labores de avance - U.E.A. Chungar - Cía Minera Volcan S.A.A. (Tesis de maestría)”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2021. Consultado: el 10 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7630>
- [7] J. Marin, “Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - Minera Aurífera Retamas S.A. (Tesis de pregrado)”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2021. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6939#:~:text=para%20la%20curvatura%20de%20la,rampa%20se%20disminuy%C3%B3%20al%205%20C5>
- [8] F. Espinoza y J. Carreño, “Control operativo de los metros de avance por disparo mediante la metodología Lean Six Sigma (Tesis de pregrado)”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2022. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/items/3299c172-deea-420f-8f45-f8112acbfd4b>
- [9] J. Cruz y J. Tovar, “Pérdidas en perforación y voladura en la rampa Carmen, nivel 125 de la unidad Chungar de Compañía Minera Volcan S.A.A. (Tesis de pregrado)”, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, 2015. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea].

Disponible

en:

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3847#:~:text=descriptivo%2C%20m%C3%A9todo%20de%20investigaci%C3%B3n%20explicativo,70>

- [10] O. Carhuallanqui, “Incidencia de la capacitación, supervisión y control en perforación y voladura en los trabajadores - contrata JRC – Unidad Minera el Brocal - Colquijirca – Pasco (Tesis de pregrado)”, Universidad Continental, Huancayo, 2019. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6409#:~:text=Abstract%3A%2%A0El%20presente%20trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n,El%20m%C3%A9todo%20de>

- [11] F. Gómez, J. Valencia, y S. Ríos, “Optimización de las actividades de perforación y voladura en la UM San Rafael mediante modelos de rotura y predicción de cavidades”, Trabajo técnico presentado en PERUMIN 35 Convención Minera. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/PERM35-171.pdf#:~:text=de%20rotura%20y%20predicci%C3%B3n%20de,econ%C3%B3mico%20positivo%20en%20la%20operaci%C3%B3n>

- [12] A. Sánchez, “Optimización de los procesos de perforación y voladura en la cantera de áridos Beltrán, Santa Rosa - El Oro (Tesis de pregrado)”, Universidad del Azuay, Ecuador, 2023. Consultado: el 10 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/12939>

- [13] B. Montalvo, "Diseño de malla de perforación y voladura para el control de dilución en el subnivel de producción 'Los Gemelos', en la explotación minera subterránea de la mina 'Pique', compañía OROCONCENT S.A., Portovelo Ecuador (Tesis de pregrado)", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, 2022. Consultado: el 10 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18114>
- [14] C. Coronel, "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 (Tesis de pregrado)", Universidad del Azuay, Ecuador, 2019. Consultado: el 10 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9483>
- [15] Cámara Minera del Perú, "Voladura y perforación", 31/10/2019. [En línea]. Disponible en: <https://camiper.com/tiempominero/tipos-voladura-y-perforacion-minera-especializacion/>
- [16] C. López Jimeno, E. López Jimeno, y P. García Bermúdez, *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid, 2003.
- [17] Interempresas, "Avances tecnológicos en la perforación y voladura", 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Mineria/Articulos/203363-Avances-tecnologicos-en-la-perforacion-y-voladura-de-rocas.html>
- [18] J. Bernaola, J. Castilla, y J. Herrera, *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2013.
- [19] J. Pernia, F. Ortiz, C. Lopez Jimeno, y E. Lopez Jimeno, *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: ETIMSA, 2003. [En línea].

- Disponible en: <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/Manual-de-Perforación-y-Voladura-de-Rocas.pdf>
- [20] Instituto Tecnológico Geominero de España, *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid (España): Izquierdo S.A., 1994.
- [21] FAMESA, “Famesa Explosivos: Accesorios de voladura”. [En línea]. Disponible en: <http://www.famesa.com.pe/productos/accesorios/>
- [22] Jornada Pervol'17 en la ETSIMM, “Avances tecnológicos en la perforación y voladura de rocas”, Interempresas.
- [23] V. Berrospi, “Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A. (Tesis de Titulación)”, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2019. Consultado: el 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/1778>
- [24] M. Condori y J. Velazco, “Optimización de perforación y voladura por el método de Roger Holmberg en minera aurífera Estrella de Chaparra S.A. (Tesis de Titulación en Ingeniería de Minas)”, Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, 2021. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4395>
- [25] N. Espinosa y R. Hormaechea, “Optimización de los procesos de perforación y voladura en los frentes de trabajo de la sociedad minera ‘Santa Clara’, Ponce Enríquez-Azuay (Tesis de pregrado)”, Universidad del Azuay, Ecuador, 2021. Consultado: el 2 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11525>
- [26] K. Cabrera, “Optimización de una malla de perforación y voladura usando las metodologías Holmberg y Konya en la Mina Grumintor de la Concesión

- Pinglio (Tesis de Titulación en Ingeniería Geológica y Minera)”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Macas-Ecuador, 2021. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15367>
- [27] P. Cayllahua, “Evaluación de costos operativos en galerías de exploración para optimizar la perforación y voladura en la UNidad Minera Las Aguilas - CIEMSA (Titulación en Ingeniero de Minas)”, Universidad Nacional del Altiplano, 2018. [En línea]. Disponible en: [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10669/Cayllahua\\_Mama\\_ni\\_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10669/Cayllahua_Mama_ni_Pedro.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [28] A. Nemat, S. Nadeau, y B. Ate-me-Nguema, “Lean Mining, Productivity and Occupational Health and Safety: An Expert-Elicitation Study”, *American Journal of Industrial and Business Management*, vol. 9, núm. 11, 2019, Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/ajibm.2019.911134>
- [29] D. Henao y M. Gelves, “Aplicación de la metodología Kaizen de mejora continua a las operaciones en la mina en la empresa de explotación de Cobre Miner S.A. (Tesis de MBA)”, Universidad EAFIT, Colombia, 2019. Consultado: el 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/items/30b9a3fb-8dca>
- [30] M. Haddas, M. Asiri, y R. Faya, “Continuous Improvement – Development with Time”, *Int J Comput Appl*, vol. 108, núm. 8, pp. 35–39, 2014, Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5120/18935-0360>

- [31] E. Harris, “What is Continuous Improvement? A Simple Guide”, Triaster Ltd. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://blog.triaster.co.uk/blog/what-is-continuous-improvement#:~:text=Generally%20speaking%2C%20continuous%20improvement%20aims,to>
- [32] Mining Technology, “‘Continuous improvement’: Inside Orica’s wireless blasting process”.
- [33] O. Castillo y C. García, “Programa de mejora continua en operaciones mineras”, Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/programa-de-mejora-continua-en-operaciones-mineras#:~:text=La%20mejora%20continua%20tiene%20un,sean%20m%C3%A1s%20eficientes%20en%20todos>
- [34] V. Marquez, “The Impact of Continuous Improvement on Health and Safety”, Aristeio. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.aristeio.com/en/blogue/the-impact-of-continuous-improvement-on-health-and-safety/#:~:text=Continuous%20improvement%20places%20a%20strong,b,e%20found%20in%20working%20environments>
- [35] J. Marín-García, Y. Bautista-Poveda, y J. García-Sabater, “Etapas en la evolución de la mejora continua: Estudio multicaso”, *Intangible Capital*, vol. 10, núm. 3, pp. 584–618, 2014, Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:

[https://www.redalyc.org/pdf/549/54932488008.pdf#:~:text=En%20el%20c  
aso%204%20la,y%20la%20integraci%C3%B3n%20de%20los](https://www.redalyc.org/pdf/549/54932488008.pdf#:~:text=En%20el%20caso%204%20la,y%20la%20integraci%C3%B3n%20de%20los)

- [36] W. Li, Q. Zhang, J. Bai, J. Zhang, L. Yu, y J. Liu, "Blasting damage mechanism and excavation stability of surrounding rock of shallow-buried metro station", *Physics of Fluids*, vol. 36, 2024, Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/5.0206732>
- [37] A. Gonzales, "The Continuous Improvement of Development Blasting at ErnestHenry Mine (Tesis de pregrado)", The University of Queensland, 2016. Consultado: el 27 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14264/uql.2017.225>
- [38] S. Carrasco, *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos, 2007.
- [39] C. Ocegueda, *Metodología de la Investigación: Métodos, técnicas y estructuración de trabajos académicos*, 2da ed. México D.F: ALBOX, 2015. Consultado: el 2 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/330409452 Metodologia de la Investigacion Metodos Tecnicas y estructuracion de trabajos academicos](https://www.researchgate.net/publication/330409452_Metodologia_de_la_Investigacion_Metodos_Tecnicas_y_estructuracion_de_trabajos_academicos)
- [40] R. Hernández, C. Fernández, y M. del P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 6ta ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2014. Consultado: el 14 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_-\\_roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://periodicooficial.jalisco.gob.mx/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf)

- [41] G. Baena, *Metodología de la Investigación*, 3era ed. México D.F: Grupo Editorial Patria, 2017.
- [42] R. Hernández, C. Fernández, y P. Baptista, *Metodología de la Investigación*, 5ta ed. México D.F: Mc Graw Hill, 2010. Consultado: el 2 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/8832042/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_investigaci%C3%B3n\\_5ta\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/8832042/Metodolog%C3%ADa_de_la_investigaci%C3%B3n_5ta_edici%C3%B3n)
- [43] J. Yuni y C. Urbano, *Técnicas para investigar. Recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*, 1era ed., vol. 2do. Argentina: Editorial Brujas, 2014. Consultado: el 4 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2016/01/T%C3%A9cnicas-para-investigar-2-Brujas-2014-pdf.pdf>
- [44] C. Salgado-Lévano, *Manual de investigación. Teoría y práctica para hacer la tesis según la metodología cuantitativa*. Lima (Perú): Universidad Marcelino Champagnat, 2018. Consultado: el 17 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://atarazana.files.wordpress.com/2020/07/manual-tesis-cuantitativa.pdf>



## VII. ANEXOS

**Anexo N°1: Operacionalización de variables**

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES	TÉCNICA/INSTRUMENTO
<p align="center"><b>APLICACIÓN DE LA MEJORA CONTINUA</b></p>	<p align="center">CUALITATIVA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensión actuar</li> <li>• Dimensión planear</li> <li>• Dimensión hacer</li> <li>• Dimensión verificar</li> </ul>	<p align="center">Técnica del ANALISIS DOCUMENTAL</p>
<p align="center"><b>PERFORACIÓN Y VOLADURA</b></p>	<p align="center">CUALITATIVA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros de avance por disparo</li> <li>• Sobrerotura de labores</li> <li>• Capacitación y perforación y voladura</li> </ul>	<p align="center">Técnica de LA OBSERVACIÓN DIRECTA</p>

Anexo N° 2: Matriz de consistencia

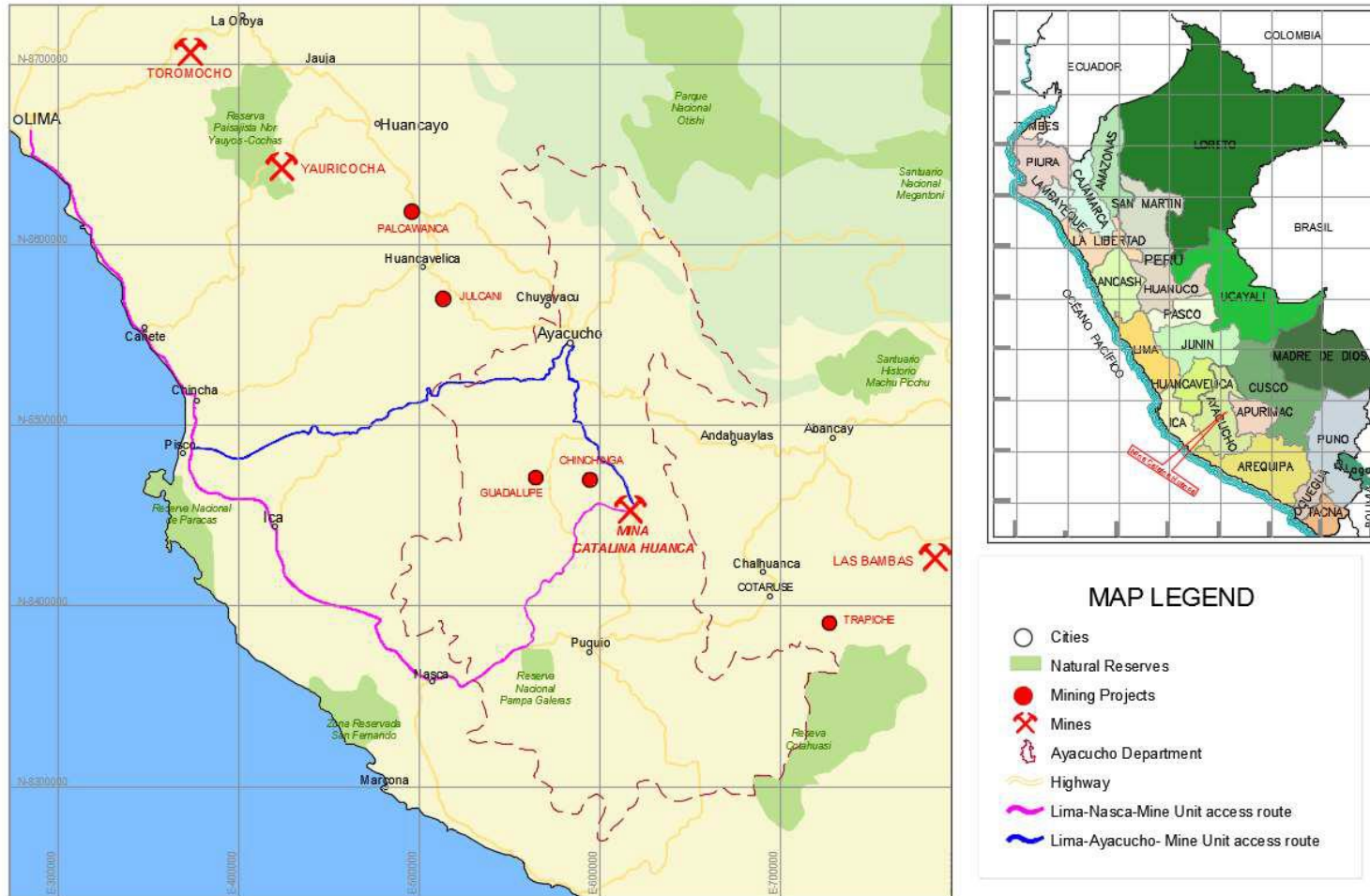
APLICACIÓN DE LA MEJORA CONTINUA EN LA PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS – FAMESA EXPLOSIVOS

PERÚ S.A.C. 2023

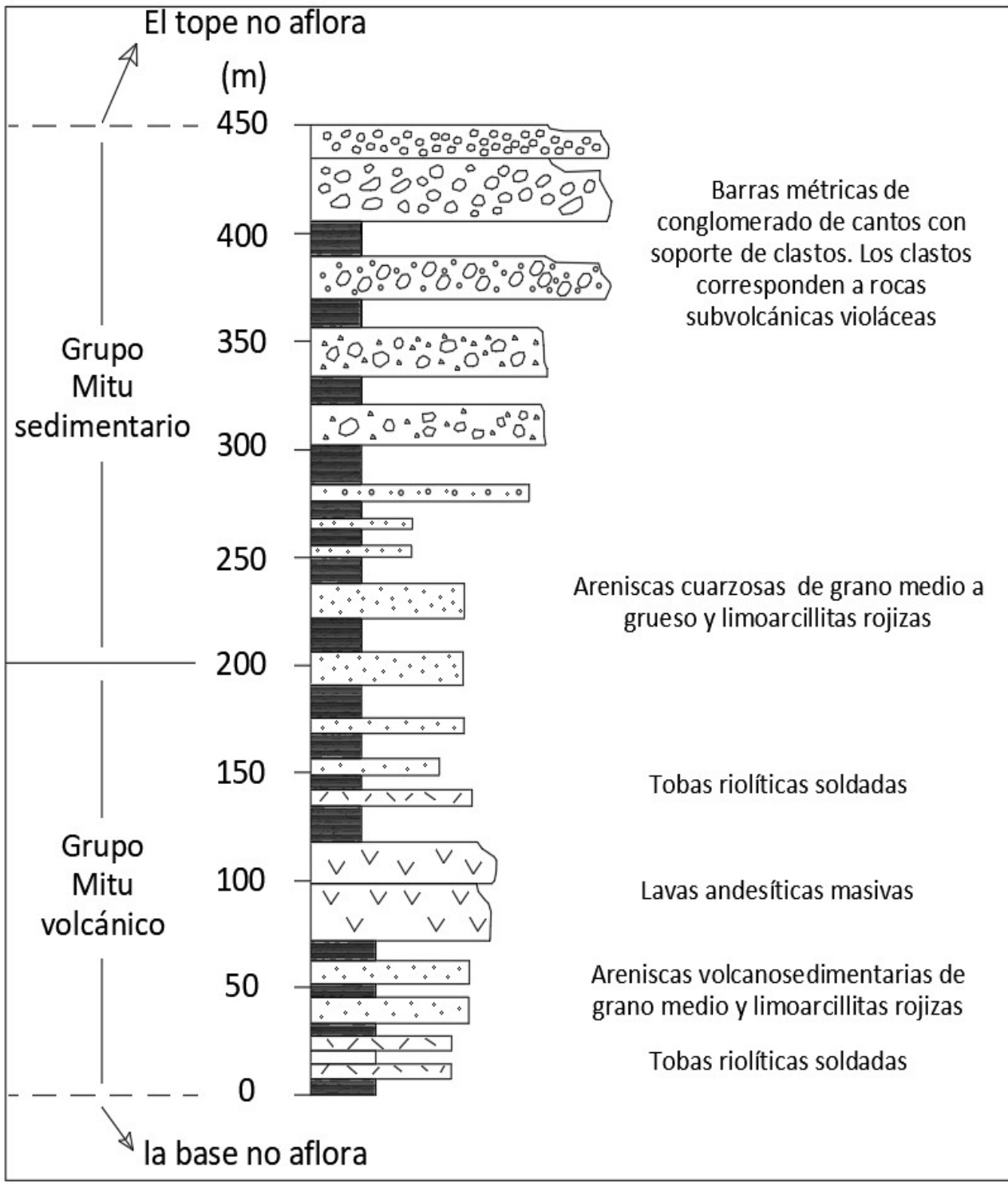
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general			
¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?	Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.	La aplicación de la mejora continua influye en la perforación y voladura de rocas – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.	<b>Variable X:</b> APLICACIÓN DE LA MEJORA CONTINUA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensión actuar</li> <li>• Dimensión planear</li> <li>• Dimensión hacer</li> <li>• Dimensión verificar</li> </ul>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo explicativo</p> <p><b>Diseño:</b> Comparativo transversal</p> <p><b>Población:</b> la población estará conformada por todas las unidades mineras de producción, en el cual Famesa Explosivos Perú S.A.C. ejecuta labores de</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas			
¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?	Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.	La aplicación de la mejora continua influye en los metros de avance por disparo – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.	<b>Variable Y:</b> PERFORACIÓN Y VOLADURA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metros de avance por disparo</li> <li>• Sobrerotura de labores</li> <li>• Capacitación y perforación y voladura</li> </ul>	
¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?	Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.	La aplicación de la mejora continua influye en la sobrerotura de labores – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.			
¿De qué manera la aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en	Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en	La aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en			

<p>perforación y voladura – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023?</p>	<p>Determinar que la aplicación de la mejora continua influye en la capacitación en perforación y voladura – Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.</p>	<p>Famesa Explosivos Perú S.A.C. 2023.</p>		<p>perforación y voladura de rocas, en el año 2023.</p> <p><b>Muestra:</b> La muestra estará conformada por la Unidad de Producción Catalina Huanca, en el año 2023.</p> <p><b>Técnicas:</b> El análisis documental y la observación directa</p>
---	--	--	--	--

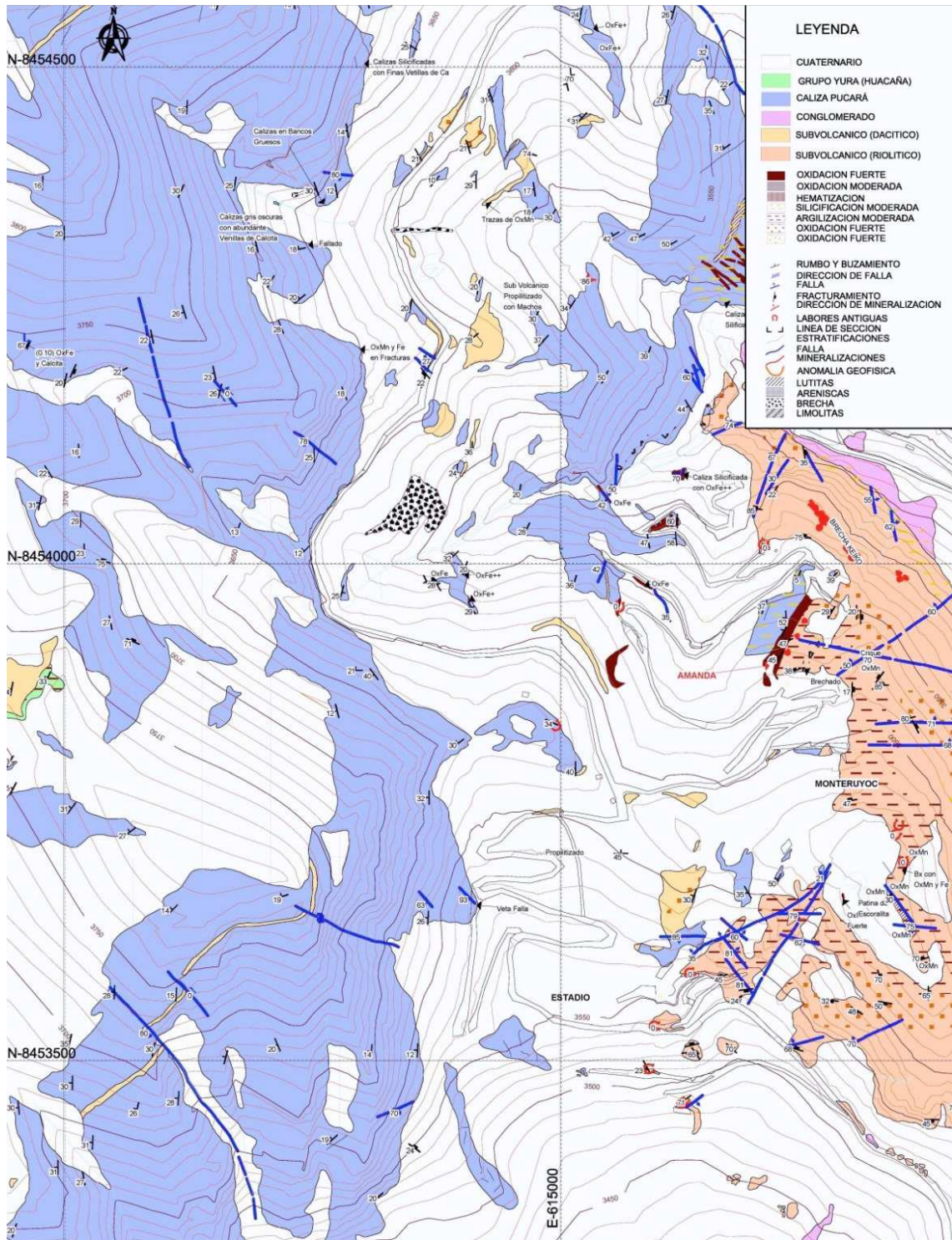
### Anexo N°3: Planos

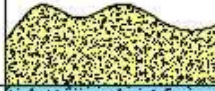



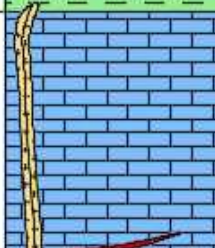
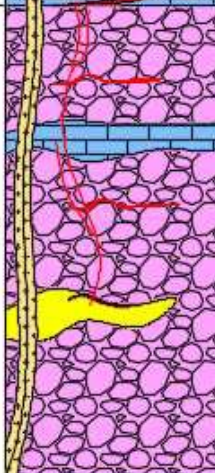
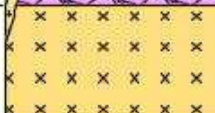


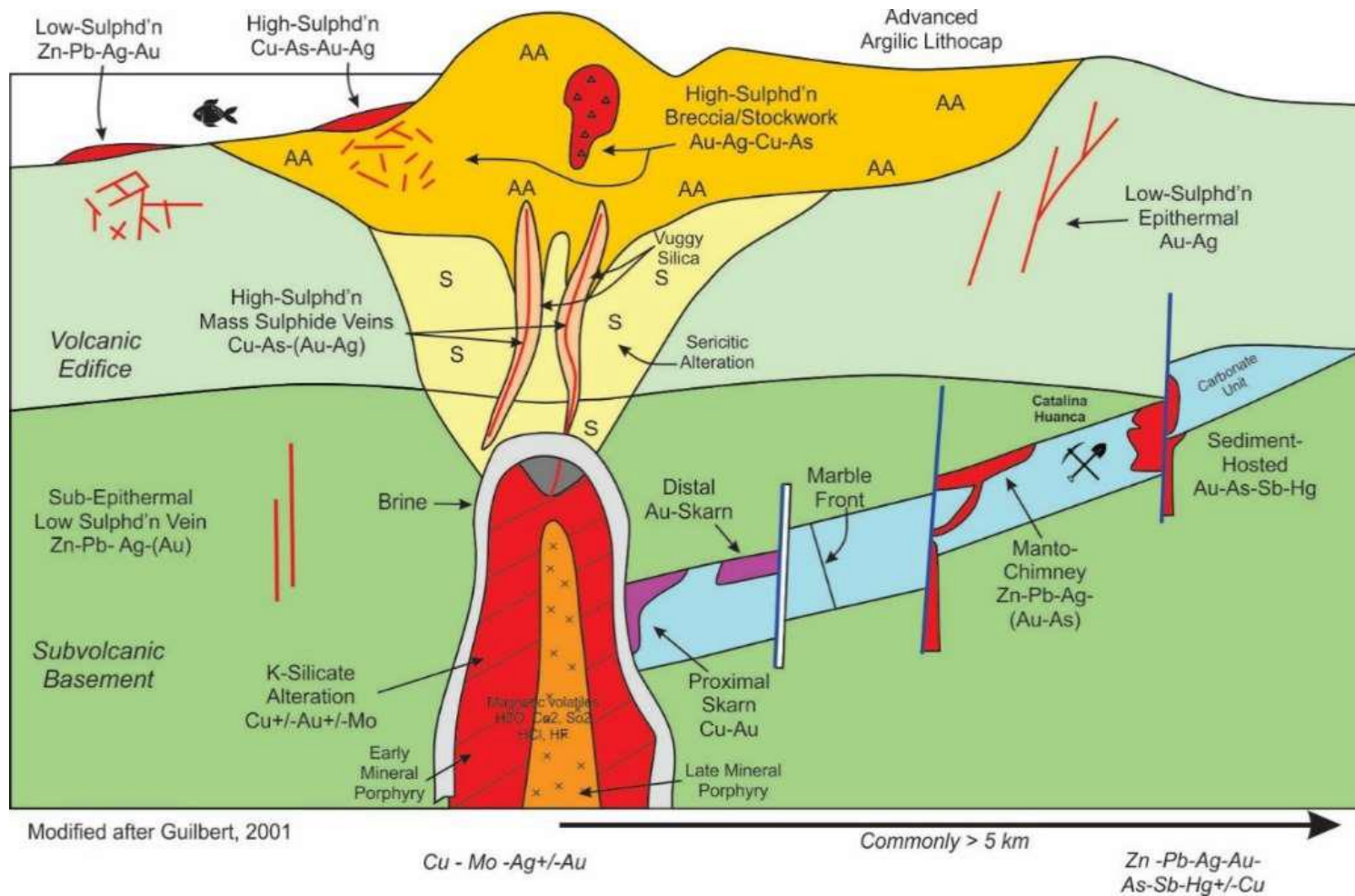
ICA HATUN YACHAY HUASI







ERA	SYSTEM	SERIES	UNIT	APPROX. THICKNESS (m)	COLUMN	LITHOLOGICAL DESCRIPTION
CENOZOIC	QUATERNARY	HOLOCENE	ALLUVIUM COLLUVIUM			Blocks, gravels, sands and unconsolidated silts
		PLEISTOCENE	FLUVIOGLACIAL DEPOSIT			Blocks, gravels, sands and slightly consolidated silts
	MORAINIC DEPOSIT					
	MESOZOIC	JURASSIC	UPPER	YURA GROUP		
TRIASSIC		UPPER	PUCARA GROUP	>750		Thrust overlapping the Mitu group. Formed by dark gray limestones in thick bench interspersed with some sandstone layers and thin strata of dark lutite, which were folded and faulted by tectonic activity corresponding to the Andean orogeny with a NE-SW regionally oriented structure
PALEOZOIC	PERMIAN	UPPER	MITU GROUP	>800		Polymictic conglomerates formed by sandstone clasts, limestones and quartzite embedded in a clayey to sandy ferruginous matrix and reddish gray calcareous rocks
			QUEROBAMBA COMPLEX			Intrusive of phyllites, micaesquistos and Precambrian gneiss, it is found to be gneissified.



ICA HATUN YACHAY HUASI

#### Anexo N°4: Evidencia fotográfica



MANTA LLAO









UNIVERSIDAD N

LUIS GONZAGA,



