

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización de parámetros de perforación y
voladura de la galería 10316 para controlar la
dilución de mineral, empresa contratista Minera
Tauro S. A. C., La Libertad**

Richard David Mendoza Solier

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Benjamin Manuel Ramos Aranda
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 19 de Agosto de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE LA GALERIA 10316 PARA CONTROLAR LA DILUCIÓN DE MINERAL, EMPRESA CONTRATISTA MINERA TAURO S.A.C., LA LIBERTAD

Autores:

1. Richard David Mendoza Solier – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores N° de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"):20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis padres por cada uno de los días de sacrificio y por los ánimos brindados durante toda la carrera profesional. También, agradezco a mis hermanas por los ánimos y consejos brindados.

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad Continental.

A los catedráticos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería de Minas, por sus enseñanzas para nuestra formación profesional.

Asimismo, un especial agradecimiento al asesor, Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda, por sus sabias enseñanzas, por su guía, por su buena orientación y apoyo continuo, a fin de lograr la culminación de la presente investigación.

RESUMEN

La Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C., hoy en día, realiza trabajos de desarrollo y preparación en la Minera Aurífera Retamas S.A., actualmente se tiene deficiencias en la Galería 10316 de sección de 2.4 x 2.7 metros, ya que no se tiene un buen control de los parámetros de perforación y voladura. Las deficiencias en el control del proceso de perforación vienen hacer la percusión, rotación, empuje de avance y barrido, como también en proceso de la voladura se tuvo deficiencias como en el avance efectivo del disparo, mayor factor de carga y mala fragmentación del mineral. Esto ha generado sobreroturas de la sección de la labor, lo que diluye así el mineral, las malas prácticas operativas por lo general son las siguientes la siguiente: el inadecuado paralelismo de los taladros en el arranque, mal control del burden como del estacionamiento, inadecuado distribución de taladros en toda la malla de perforación y voladura, estas malas prácticas son las causantes de que el disparo no sea óptimo y se genere sobre rotura de la sección con también que se generen bancos en la labor. Además, en la Galería 10316, se encuentran estructuras geológicas como fallas y diaclasas que comprenden en 4 familias de discontinuidades principales, con presencia de rocas como el granito, granodiorita y diorita, con presencia de alteraciones con RMR 51-60, de tipo de roca regular "A" III. Asimismo, en el escenario actual tras los disparos, se obtuvo una sobre excavación de 20 centímetros en promedio por encima del estándar de sobre excavación que viene hacer de 5 centímetro, con un avance efectivo de 1.7 metros con barra cónica de 8 pies el cual es deficiente, ya que el estándar del avance efectivo por disparo se avanza 2.0 metros, barra de 8 pies y el factor de potencia tras el disparo es de 0.95 kg/ton, el cual es deficiente, ya que el estándar del factor de potencia tras el disparo es de 0.90 kg/ton. Además, la causa de las deficiencias se ha obtenido grandes bancos afectando así en la dilución con mayor del 18 % en los hastiales y un 10 % en la corona, lo cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.7 x 2.8 metros. El resultado del disparo del escenario de mejora en la perforación y voladura obtuvo una fragmentación adecuada con una dilución en promedio del 8 % en los hastiales y un 5 % de la corona, que ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.45 x 2.73 metros. Lo cual es satisfactorio en el avance y desarrollo de la Galería 10316.

Palabras clave: optimización de parámetros de perforación y voladura.

ABSTRACT

At the Minera Tauro S.A.C. Contractor Company, today it carries out development and preparation work at Minera Aurifera Retamas S.A., currently there are deficiencies in Gallery 10316 with a 2.4 x 2.7 meter section, since there is no good control of the drilling and blasting parameters, deficiencies in the control of the drilling process as it comes, performing percussion, rotation, advance thrust and sweeping, as well as in the blasting process there were deficiencies such as in the effective advance of the shot, greater factor loading and poor mineral fragmentation. Which has generated over breaks in the section of the work, thus diluting the mineral, the bad operating practices generally are: inadequate parallelism of the drills at start-up, poor control of the burden and parking, inadequate distribution of drills in the entire drilling and blasting mesh, these bad practices are the cause that the shot is not optimal and generates over breakage of the section with also the generation of benches in the work.

In Gallery 10316, there are geological structures such as faults and joints that comprise 4 families of main discontinuities, with the presence of rocks such as Granite, Granodiorite and diorite, with the presence of alterations with RMR 51-60, of the Regular rock type " A" III.

In the current scenario after the shots, an over-excavation of 20 centimeters on average was obtained above the over-excavation standard of 5 centimeters, with an effective advance of 1.7 meters with an 8-foot conical bar, which is deficient. since the standard of the effective advance per shot is advanced 2.0 meters, 8-foot bar and the power factor after the shot is 0.95 kg/ton, which is deficient, since the standard of the power factor after the shot is of 0.90 kg/ton.

The cause of the deficiencies has been large banks, thus affecting the dilution with greater than 18 % in the gables and 10 % in the crown, which has generated that the section of the work is increased from 2.4 x 2.7 meters to 2.7 x 2.8 meters. The result of the firing of the improvement scenario in drilling and blasting was obtained an adequate fragmentation with an average dilution of 8 % in the gables and 5 % percent of the crown, which has generated that the section of the work is increase from 2.4 x 2.7 meters to 2.45 x 2.73 meters. Which is satisfactory in the advancement and development of Gallery 10316

Keywords: Optimization of drilling and blasting parameters.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xi
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema	13
1.1.1 Planteamiento del problema.....	13
1.1.2 Formulación del problema	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificación e Importancia	14
1.3.1 Justificación practica	14
1.4 Hipótesis	15
1.4.1 Hipótesis general	15
1.4.2 Hipótesis específicas	15
1.5 Identificación de las Variables	15
1.5.1 Variable independiente	15
1.5.2 Variable dependiente	15
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables	16
CAPÍTULO II.....	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes del Problema.....	17
2.1.1 Antecedente internacional.....	17
2.1.2 Antecedentes nacionales	17
2.2 Fundamentos de la Minera Aurífera Retamas S.A	17
2.2.1 Ubicación y accesibilidad	17
2.2.2 Geología.....	18
2.3 Bases teóricas.....	19
2.3.1 Descripción del método de minado por corte y relleno	19

2.3.2	Método de Langefors y Exsa.....	19
2.3.3	Control de fragmentación y dilución.....	19
2.3.4	Definición de términos	22
CAPÍTULO III		23
MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO.....		23
3.1	Método y Alcances de la Investigación.....	23
3.1.1	Método de la investigación.....	23
3.1.2	Alcance de la investigación.....	23
3.2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	23
3.3.1	Población	23
3.3.2	Muestra.....	23
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	24
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos.	24
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	24
CAPÍTULO IV		25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
4.1	Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.	25
4.1.1	Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para mejorar la fragmentación del mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.....	25
4.1.2	Reducción del costo de perforación y voladura por metro lineal de avance de la Galería 10316 en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.....	42
CONCLUSIONES.....		50
RECOMENDACIONES		51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		52
anexoS.....		53
Anexo 1.	Matriz de Consistencia.....	54
Anexo 2.	Geología regional	55
Anexo 3.	Descripción del método de minado por corte y relleno	59
Anexo 4.	Método de Langefors y Exsa.....	61
Anexo 5.	Fichas técnicas de explosivos.....	64
Anexo 6.	Costo lineal de la perforación y voladura en el escenario actual de la Galería 10316..	65
Anexo 7.	Costo lineal de la perforación y voladura en el escenario óptimo de la Galería 10316	67
Anexo 8.	Escenario actual estructura de costo de transporte de la Galería 10316	69
Anexo 9.	Escenario óptimo estructura de costo de transporte de la Galería 10316.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura N. 1: Plano de ubicación geográfica de MARSA	18
Figura N 2: Perforación y voladura controlada del Gal 10316-N (Bp 10316 -Ne), Zona Valeria IV....	20
Figura N. 3: Resultados del disparo del Gal 10316-N (Bp 10316-Ne), Zona Valeria IV	20
Figura N. 4: Frente de avance después del disparo del Gal 10316-N (Bp 10316-Ne), Zona Valeria IV	21
Figura N. 5: Fragmentación del avance después del disparo del Gal 10136-N (Bp 10136-Ne), Zona Valeria IV	22
Figura N. 6: Análisis geomecánico de la Galería 10316.....	26
Figura N. 7: Escenario actual-diseño de malla de perforación y voladura de sección de 2.4 x 2.7 metros de la Galería 10316.....	28
Figura N. 8: Escenario actual-tiro fallado tras el disparo de la Galería 10316.....	29
Figura N. 9: Replanteo del diseño de malla de P y V-Galería 10316	34
Figura N.10: Carga desacoplada de la columna explosiva en los taladros de la corona en la Galería 10316.	35
Figura N. 11: Uso de tacos de arcilla en la voladura del frente de la Galería 10316.....	36
Figura N. 12: Escenario situacional de la fragmentación de la Galería 10316.....	37
Figura N. 13: Escenario situacional-evaluación de la fragmentación de la Galería 10316.....	38
Figura N. 14: Escenario situacional evaluación de la sobre excavación y dilución de la Galería 10316	39
Figura N. 15: Escenario de mejora de la fragmentación de la Galería 10316.	40
Figura N. 16: Escenario de mejora-evaluación de la fragmentación de la Galería 10316.	41
Figura N. 17: Escenario de mejora evaluación de la sobre excavación y dilución de la Galería 10316.	42
Figura N. 18: Plano longitudinal de la programación de avance lineal de la Galería 10316.....	43
Figura N. 19: Columna estratigráfica regional	56

LISTA DE TABLAS

TABLA N. 1 RUTAS PARA LA ACCESIBILIDAD DE MARSAS.	18
TABLA N. 2: ANÁLISIS DEL AVANCE LINEAL ANTES DE LA MEJORA	45
TABLA N. 3: ANÁLISIS DEL AVANCE LINEAL DESPUÉS DE LA MEJORA	45
TABLA N. 4: COMPARACIÓN DEL FACTOR DE ESPONJAMIENTO Y EL TONELAJE TOTAL A EXTRAER DE LA GALERÍA 10316.	46
TABLA N. 5: COMPARACIÓN DEL FACTOR DE ESPONJAMIENTO Y EL TONELAJE TOTAL A EXTRAER DE LA GALERÍA 10316.	47
TABLA N. 6: COMPARACIÓN DEL COSTO TOTAL DE CARGUÍO Y ACARREO DE LA GALERÍA 10316.	48
TABLA N. 7: EVALUACIÓN DEL COSTO DE CHANCADO DE LA GALERÍA 10316.....	49
TABLA N. 8: RESUMEN DEL COSTOS DE OPERACIÓN UNITARIA DE LA GALERÍA 10316	49

INTRODUCCIÓN

La Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. viene realizando trabajos de desarrollo y preparación en la Minera Aurífera Retamas S.A. Hoy en día se tiene deficiencias en la Galería 10316 de sección de 2.4 x 2.7 metros, ya que no se tiene un buen control de los parámetros de perforación y voladura, las deficiencias en el control del proceso de perforación como viene, hacer la percusión, rotación, empuje de avance y barrido, como también en proceso de la voladura se tuvo deficiencias como en el avance efectivo del disparo, mayor factor de carga y mala fragmentación del mineral. Esto ha generado sobreroturas de la sección de la labor, lo que diluye así el mineral, las malas prácticas operativas por lo general son las siguientes la siguiente: el inadecuado paralelismo de los taladros en el arranque, mal control del burden como del estacionamiento, inadecuada distribución de taladros en toda la malla de perforación y voladura, estas malas prácticas son las causantes de que el disparo no sea óptimo y se genere sobre rotura de la sección con también que se generen bancos en la labor.

En la Galería 10316, se encuentran estructuras geológicas como fallas y diaclasas que comprenden en 4 familias de discontinuidades principales, con presencia de rocas como el granito, granodiorita y diorita, con presencia de alteraciones con RMR 51-60, de tipo de roca regular "A" III.

En el escenario actual tras los disparos, se obtuvo una sobre excavación de 20 centímetros en promedio por encima del estándar de sobre excavación que viene hacer de 5 centímetros, con un avance efectivo de 1.7 metros con barra cónica de 8 pies, el cual es deficiente, ya que el estándar del avance efectivo por disparo se avanza 2.0 metros, barra de 8 pies y el factor de potencia tras el disparo es de 0.95 kg/ton, el cual es deficiente, ya que el estándar del factor de potencia tras el disparo es de 0.90 kg/ton.

La causa de las deficiencias se ha obtenido grandes bancos afectando así en la dilución con mayor del 18 % en los hastiales y un 10 % en la corona, el cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.7 x 2.8 metros. El resultado del disparo del escenario de mejora en la perforación y voladura se obtenido una fragmentación adecuada con una dilución en promedio del 8 % en los hastiales y un 5 % por ciento de la corona, el cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.45 x 2.73 metros. Lo cual es satisfactorio en el avance y desarrollo de la Galería 10316

Tras las mejoras realizadas se ha mejorado el costo total de perforación y voladura por tonelada en el escenario actual es de 84.5 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 75.9 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 8.6 \$ / metro de avance.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1 Planteamiento del problema

Todas las compañías o empresas mineras de gran minería, mediana o pequeña se encuentran en constante mejoras dentro de las operaciones unitarias principales de la perforación, voladura, transporte y relleno, por medio de la búsqueda de nuevas metodologías, modelos matemáticos que optimizan los factores y parámetros a mejorar en estas operaciones unitarias principales.

Actualmente, las empresas mineras en el Perú viene utilizando métodos de minado por lo general el corte y relleno, Sublevel Stopping y Bench and Fill, en los cuales se realizan trabajos de desarrollo y preparación que según en el planeamiento minero, previa evaluación del yacimiento, geología y geomecánica. La preparación y desarrollo lo realizan sobre mineral o estéril, para que puedan justificar el aporte de mineral como también pagar los trabajos de desarrollo en galerías, chimeneas, subniveles entre otros, asegurando así la factibilidad del proyecto minero.

La Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. viene realizando trabajos de desarrollo y preparación en la Minera Aurífera Retamas S.A. Hoy en día se tiene deficiencias en la Galería 10316 de sección de 2.4 x 2.7 metros, ya que no se tiene un buen control de los parámetros de perforación y voladura, las deficiencias en el control del proceso de perforación como viene, hacer la percusión, rotación, empuje de avance y barrido, como también en proceso de la voladura se tuvo deficiencias como en el avance efectivo del disparo, mayor factor de carga y mala fragmentación del mineral. El cual ha generado sobreroturas de la sección de la labor, lo que diluye así el mineral, las malas prácticas operativas, por lo general son las siguientes la siguiente: el inadecuado paralelismo de los taladros en el arranque, mal control del burden como del estacionamiento, inadecuado distribución de taladros en toda la malla de perforación y voladura, estas malas prácticas son las causantes de que el disparo no sea óptimo y se genere sobre rotura de la sección con también que se generen bancos en la labor.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo se realizará la optimización de los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo será el resultado de la fragmentación del mineral de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad?
- ¿Cuánto será la reducción del costo de avance lineal de la Galería 10316 mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mejorar la fragmentación del mineral de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad
- Reducir el costo de avance lineal de la Galería 10316 mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad

1.3 Justificación e Importancia

1.3.1 Justificación practica

La Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. viene realizando trabajos en la MARSA, se tiene deficiencias en la Galería 10316, de sección de 2.4 x 2.7 metros, ya que el diseño de malla de perforación y voladura utilizada no es la adecuada el cual ha generado sobreroturas de la sección de la labor, lo que diluye así el mineral, las malas prácticas operativas por lo general son los siguientes la siguiente: el inadecuado paralelismo de los taladros en el arranque, mal control del burden como del estacionamiento, inadecuado distribución de taladros en toda la malla de perforación y voladura. Estas malas prácticas son las causantes de que el disparo no sea óptimo y se genere sobre rotura de la sección y a su vez la dilución sea mayor, es por ello que se desarrollara a optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316.

En la mejora de parámetros de la voladura se realizó el desacople de la columna explosiva en los taladros de la corona para una voladura controlada, a fin de reducir las vibraciones en la roca remanente, disminuir el *over break* y/o sobre rotura en las labores de avance y lograr tener una sección controlada. Estos cambios se realizarán con el replanteo de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura con la finalidad de reducir la sobre dilución del mineral, que está generando pérdidas en la entrega del aporte de mineral mensual como también en la rentabilidad de la empresa minera.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La optimización de los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316, influye positivamente en el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.

1.4.2 Hipótesis específicas

- La fragmentación del mineral de la Galería 10316, será factible y viable mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad
- La reducción del costo de avance lineal de la Galería 10316 será factible y viable mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad

1.5 Identificación de las Variables

1.5.1 Variable independiente

Parámetros de perforación y voladura.

1.5.2 Variable dependiente

Control sobre dilución de mineral.

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla N. 1: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I: Parámetros de perforación y voladura	Son los elementos que intervienen en la actividad de perforación tales como la percusión, el barrido, la rotación y el empuje de avance. En función a la voladura los elementos que intervienen en esta actividad vienen hacer el avance efectivo, el factor de carga y fragmentación, los cuales intervienen para en el resultado del disparo.	Caracterización geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> • Índices RMR, • RQD • GSI
		Parámetros de la perforación y voladura	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de perforación • Percusión (bar) • Rotación (RPM) • Empuje de avance (bar) • Barrido (bar): • Avance efectivo de perforación (m) • Factor de carga (kg explosivos/m³ de mineral) • Fragmentación – P80 (%)
V.D: Control sobre dilución de mineral	Viene hacer el resultado de la diferencia entre el porcentaje de la dilución real operativa en relación a la dilución operativa de diseño, el cual sirve para determinar en qué medida se viene cumpliendo lo planeado con lo ejecutado, con la finalidad de controlar las pérdidas de mineral reduciendo así los costos operacionales con un análisis técnico económico que ayuda a extraer el mineral de manera eficiente.	Análisis de la sobre dilución	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de la dilución de diseño (%) • Porcentaje de la dilución de real (%)
		Evaluación del costo de perforación y voladura por metro lineal de avance	<ul style="list-style-type: none"> • Costos unitarios (\$/m)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del Problema

2.1.1 Antecedente internacional

Gonzales, en su tesis, titulada “Optimización de los procesos de perforación y voladura en la Sociedad Minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez-Azuay²”, tuvo como resultado el desarrollo de las labores reducir el número de disparos, se realizó en el avance de 30 metros lineales; según el método actual se necesitaría un total de 25 voladuras para su franqueo, y con el método 2 se necesitaría un total de 22 voladuras; se logró un ahorro aproximado de \$ 600 por la mejorar de parámetros de perforación (1).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Gonzales, en su tesis, titulada “Reducción de costos operativos en labor Carmen Nv. 3040 mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S.A - 2018”, tuvo como resultado el desarrollo del Crucero 3040, que por medio de control de parámetros de la perforación y voladura se ha logrado minimizar la dilución de avance lineal en un 66.66 % con resultados favorables en el costo operacional (2).

Arteaga, en su tesis, titulada “Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en la Minera Marsa S.A. Pataz-Región La Libertad” tuvo como resultado tras la aplicación del método de minado selectivo reducir considerablemente los costos de minado en 4 % del costo total, el cual en los trabajos de un año ayudará a reducir considerablemente el costo programado siendo muy factible y viable este método de minado (3).

2.2 Fundamentos de la Minera Aurífera Retamas S.A

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

Se ubica en el anexo de Llacubamba, en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de la Libertad a una altura de 3900 m s.n.m (4).



Figura N. 1: Plano de ubicación geográfica de MARSA

Fuente: Área administrativa de MARSA (4)

En la siguiente tabla se muestra la accesibilidad a MARSA.

Tabla N. 1

Rutas para la accesibilidad de MARSA

Recorrido	Distancia (milla)	Tipo de vía	Tiempo aproximado (horas)
De Lima hacia Trujillo	349,22	Tramo de vía asfaltada	7.5.
De Trujillo hacia Chirán	21,127	Tramo de vía asfaltada	1 .
De Chirán hacia Chagual	190,76	Tramo de vía carretera	8
De Chagual hacia Marza	42,99	Tramo de vía carretera	3
TOTAL	604,10		19.5 horas

Fuente: Área administrativa de MARSA (4)

2.2.2 Geología

1. Geología regional, ver el anexo 2.
2. Geología local, ver el anexo 2.

3. Geología estructural, ver el anexo 2.
4. Mineralización, ver el anexo 2.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Descripción del método de minado por corte y relleno

La descripción detallada del método de minado por corte y relleno ascendente se muestran en anexo 3.

2.3.2 Método de Langefors y Exsa

La descripción detallada del método de Langefors y Exsa, se muestran en anexo 3.

2.3.3 Control de fragmentación y dilución

Para controlar la fragmentación y dilución, primeramente, partimos del control de los parámetros y factores de perforación y voladura como punto de partida.

A. Control de la perforación y voladura en el frente de avance



Figura N 2: Perforación y voladura controlada del Gal 10316-N (Bp 10316 -Ne), Zona Valeria IV

Fuente: Elaboración Propia.

B. Resultados del disparo del Gal 10316-N (Bp 10316-Ne), Casa Gerencia, Zona Valeria IV



Figura N. 3: Resultados del disparo del Gal 10316-N (Bp 10316-Ne), Zona Valeria IV

Fuente: Propia.

1 Análisis de la dilución

Se aprecia 7 cañas en el contorno-corona como resultado de la voladura controlada empleando cañas cortadas de PVC en la corona de la labor.



Figura N. 4: Frente de avance después del disparo del Gal 10316-N (Bp 10316-Ne), Zona Valeria IV

Fuente: Propia.

Se aprecia el ancho de la labor con sobre rotura del 10 % en los hastiales por la energía del disparo la cual se entregó muy rápidamente debido posiblemente a la falta de números faneles y el terreno fracturado que presenta dos fallas laterales en la misma dirección del avance de la labor.

2 Análisis de la fragmentación

En el disparo del material roto de la labor se puede observar el tamaño de la fragmentación del material a fin de determinar el tamaño del material predominante en el disparo.



Figura N. 5: Fragmentación del avance después del disparo del Gal 10136-N (Bp 10136-Ne), Zona Valeria IV

Fuente: Propia.

2.3.4 Definición de términos

A. Avance lineal. Es la longitud desarrollada de trabajo en función a factores como la habilidad del maestro perforista, longitud de barra, tipo de uso de aceros de perforación, explosivos accesorios, entre otros. (5).

B. Las fracturas. La presencia de las fallas del macizo rocoso afecta directamente al desgaste de la columna de perforación y para mejorar el carguío de los taladros se utiliza los tubos de PVC. (6)

C. El tiempo disponible. Viene hacer el tiempo de uso del equipo en función a la eficiencia de la perforación y voladura en el desarrollo de todo el frente de avance. (7)

D. Dureza de la roca. Es la valoración de la roca con finalidad de cuantificar sus características a fin de que nos ayude a determinar qué tipo de explosivo a utilizar, el tipo de sostenimiento entre otros. (6)

CAPÍTULO III

MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Método y Alcances de la Investigación

3.1.1 Método de la investigación

A. Método general o teórico de la investigación

En esta investigación se utiliza el método científico

B. Método específico de la investigación

El método específico es el experimental deductivo.

3.1.2 Alcance de la investigación

A) Tipo de investigación

Es aplicativa

B) Nivel de investigación

Es descriptivo

3.2 Diseño de la investigación

Es experimental.

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

Serán todas las galerías de profundización de todas las zonas y niveles de la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C.

3.3.2 Muestra

La galería de profundización 10316 nivel 2470 de la Zona de Valeria IV en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Observación. Mediante la técnica observacional se recolectaron los datos de campo de todas las actividades de perforación y voladura de la Galería 10316 de la Zona de Valeria IV, para la investigación se utilizó Flexometro, planos de la Galería 10316, libreta de apuntes y las herramientas de gestión en seguridad.

Recopilación. La recolección de datos se utiliza el programa Excel, libros y laptop.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.

Los instrumentos utilizados en el trabajo de investigación son los Informes, publicaciones, tesis, planos, fichas, libros, internet y PC.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la empresa contratista minera Tauro S.A.C. La Libertad.

4.1.1 Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para mejorar la fragmentación del mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.

A. Estudio geotécnicos de la Galería 10316

Para conocer el tipo de roca y las estructuras geológicas presentes como fallas, diaclasas, entre otros se ha realizado el estudio geomecánico de la Galería 10316, como se muestra a continuación en la siguiente figura.

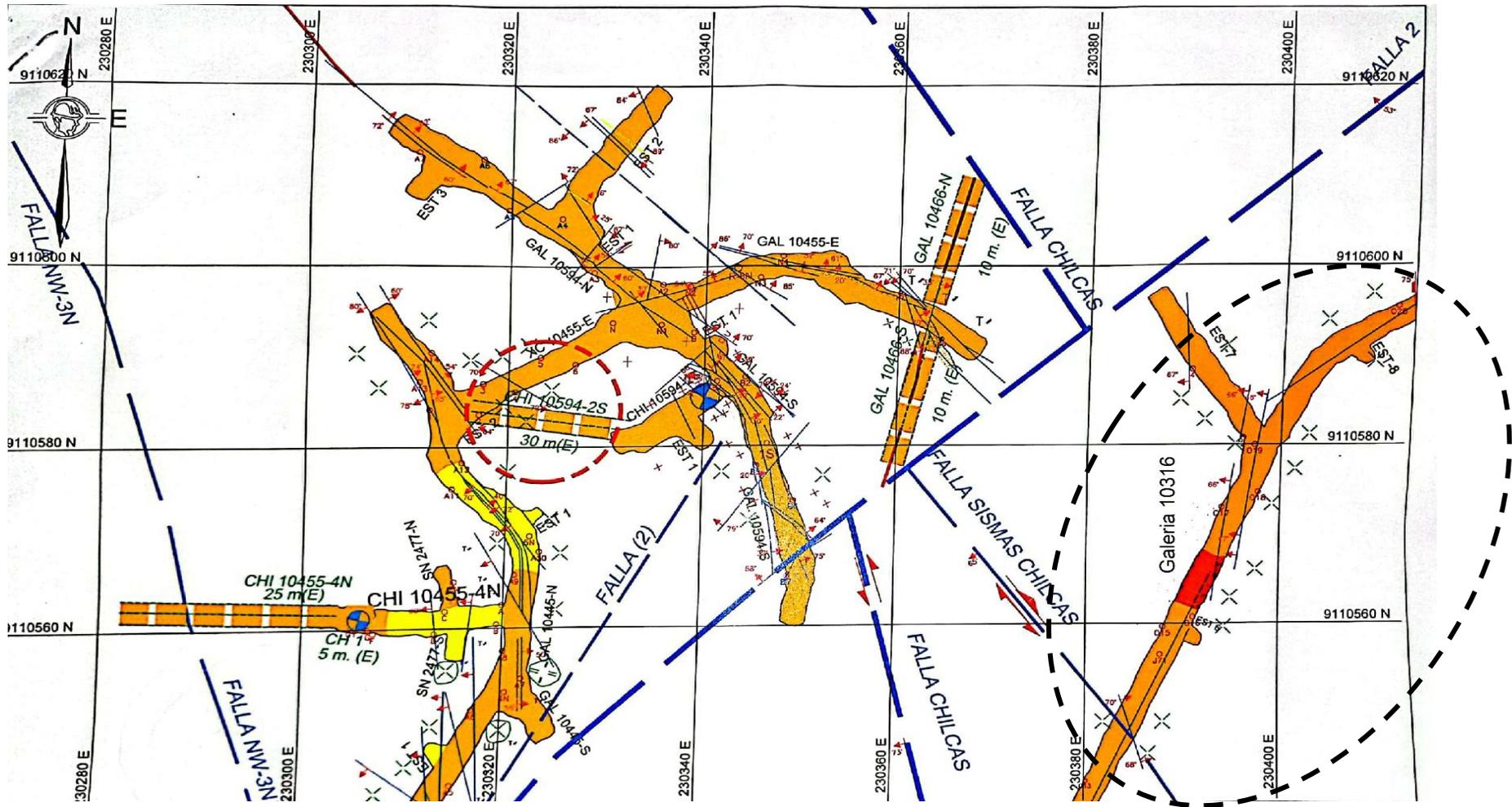


Figura N. 6: Análisis geomecánica de la Galería 10316

Fuente: Área de operaciones de la Marsa (8)

Comentario

En la Galería 10316, se encuentran estructuras geológicas como fallas y diaclasas que comprenden en 4 familias de discontinuidades principales, los cuales son ideales para mejorar el diseño de malla de perforación y voladura.

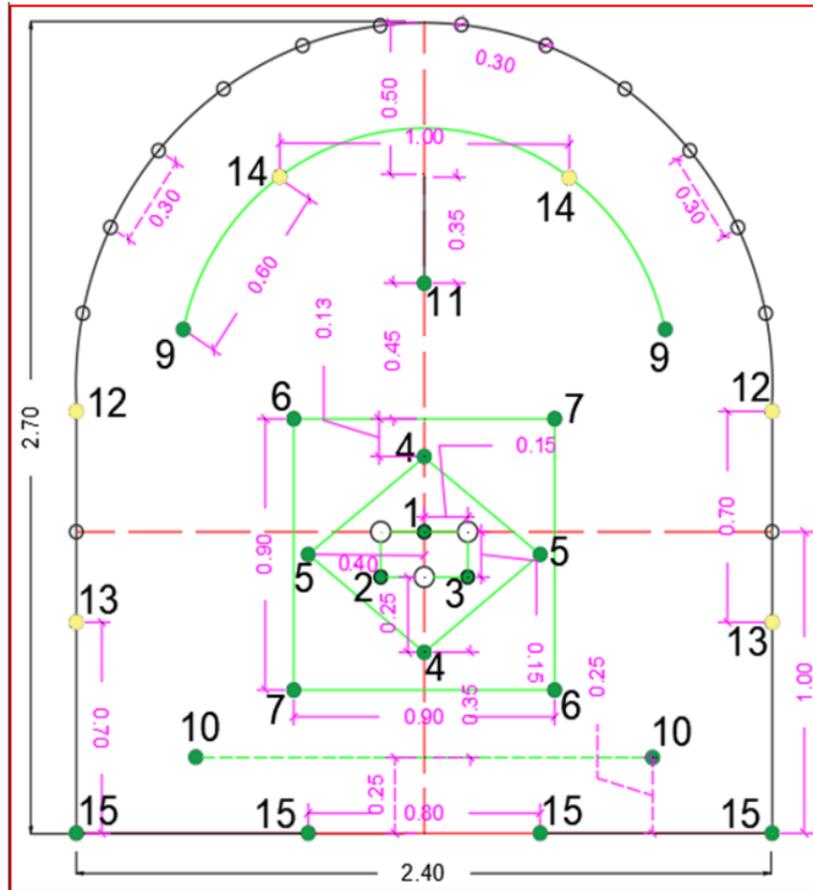
El estudio geomecánico de la Galería 10316, de las rocas predominantes en toda la extensión de la Galería 10316, es el granito, granodiorita y diorita, con presencia de alteraciones con RMR 51-60, de tipo de roca regular “A” III.

Análisis comparativo de los factores y parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316

Para determinar en cuanto se ha mejorado los trabajos de perforación y voladura se analizó en dos escenarios del antes y después para determina la optimización.

1. Escenario actual

En la siguiente tabla se muestran los parámetros del diseño de malla utilizada antes de las mejoras realizadas.



Distribución de carga explosiva por taladro			
Tipo	Cantidad taladros	Emulnor 1000 1/8 x 16	Emulnor 500 1/8 x 12
Taladros de alivio contorno	14		
Alivio	3		
Arranque	3	15	
1 ayuda	4	18	
2 ayuda	4	16	
3 ayuda	1	4	
Ayuda cuadrador			
Ayuda corona	4	8	8
Hastial	4		16
Ayuda arrastre	2	8	
Corona			
Arrastre	4	16	
Total	43	85	24

Fanel LP	
Numero	Cantidad
1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	2
7	2
8	
9	2
10	2
11	1
12	2
13	2
14	2
15	4
16	

Perforacion	Unidad	8 pies
Longitud de perforacion	metros	2.3
Taladros cargados	unid.	26
Taladros rimados	unid.	3
Taladros alivio	unid.	3
Diametro de broca	mm	38
Diametro de rimado	mm	64

Resultados	Unidad	8 pies
Avance efectivo	mts	1.7
eficiencia de disparo	%	80
Densidad del mineral	tn/m3	2.85
Factor de avance	kg/m	17.49
Factor de carga	kg/m3	2.70
Factor de potencia	kg/tn	0.95

Voladura	Unidad	8 pies
Emulnor 1000 1/8 x 16	cart.	85
Emulnor 500 1/8 x 12	cart.	24
Total explosiva	kg	30
cordón detonante 5p	mts.	25
Mecha rapida	mts.	0.1
Fanel LP	Pzas	26
Carmex 7 pies	Pzas	2

Figura N. 7: Escenario actual-diseño de malla de perforación y voladura de sección de 2.4 x 2.7 metros de la Galería 10316.

Fuente: Área de operaciones de la MARSÁ (8).

Comentario

Tras los disparos se obtuvieron deficiencias con este tipo de diseño de malla de perforación y voladura, mayormente se tuvo tiros fallados por la falta de paralelismo de los taladros de arranque y demás taladros del diseño de malla así mismo la falta de iniciar un buen sistema de arranque a fin de controlar el burden y espaciamiento, los resultados del disparo son:

- La sobre excavación tras el disparo es de 20 centímetros en promedio, el cual es deficiente ya que el estándar de sobre excavación es del 5 centímetros.
- El avance efectivo tras el disparo se llegó hasta 1.70 metros con barra de 8 pies el cual es deficiente, ya que el estándar del avance efectivo por disparo es de 2 metros con barra de 8 pies.
- El factor de potencia tras el disparo es de 0.95 kg/ton, el cual es deficiente, ya que el estándar del factor de potencia tras el disparo es de 0.90 kg/ton.

Estas deficiencias han generado retrasos en el avance de la Galería 10316 según las programaciones mensuales y a su vez han incrementado el costo por metro lineal de la perforación y voladura. En la siguiente figura se muestra el tiro fallado tras el disparo del escenario actual de la Galería 10316.



Figura N. 8: Escenario actual-tiro fallado tras el disparo de la Galería 10316

Fuente: Propia.

2. Situación óptima

A fin de mejorar las deficiencias en los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316, se ha realizado el replanteo de la malla de perforación y voladura a fin de mejorar deficiencias mostradas en el escenario actual.

Para ello se desarrolló el diseño de malla de perforación y voladura por el método de Langefors y Exsa.

A. Cálculo del replanteo del diseño de malla de perforación y voladura se realizará con el modelo matemático de Langefors y Exsa

La Galería 10316, tiene como sección 2.4 x 2.7 metros, con un tipo de roca es el granito, granodiorita y diorita, con presencia de alteraciones con RMR 51-60, de tipo de roca regular “A” III y una densidad de 2.85 ton/m3.

a) Aplicación de la metodología de Langefors y Exsa

• **Calculando del burden máximo**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 1 es la siguiente:

$$A = (2/3 \times 2.40 \times 2.7) + [(2.7/18 \times 2.4) (2.7)^2/3 + 4 \times 2.4^2]$$

$$A = 5.91 \text{ m}^2$$

• **Calculando el perímetro**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 2 es la siguiente:

$$P = \sqrt{5.91 \times 4}$$

$$P = 9.73 \text{ m}$$

• **Calculando el número de taladros**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 3 es la siguiente:

$$N.º \ t = (9.73/0.55) + (1.75 \times 5.91)$$

$$N.º \ t \approx 28 \text{ taladros}$$

A fin de controlar el disparo en la corona se agregó 5 taladros de alivio y 4 taladros de alivio en el arranque.

- **Determinación del número de taladros de alivio**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 4 es la siguiente:

$$L = 0.15 + (34.1 \times 0.09051) - (39.4 \times 0.008192)$$

$$L = 2.913626$$

$$L = 3$$

A fin de asegurar la salida del arranque se 1 taladros de alivio más siendo un total de 4 taladros de alivio.

- **Calculando el diámetro equivalente:**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 5 es la siguiente:

$$DH = 64 \text{ mm} \times \sqrt{2}$$

$$DH = 90.51 \text{ mm}$$

- **Cálculo y diseño de malla de arranque:**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 6 es la siguiente:

Cálculo del burden

$$B = 1.50 \times 90.51 \text{ mm}$$

$$B = 135.76 \text{ mm}$$

$$B = 13,576 \text{ cm}$$

$$B = 13 \text{ cm}$$

Cálculo del espaciamiento

$$E = 13,576 \text{ cm} \times \sqrt{2}$$

$$E = 19,2 \text{ cm}$$

$$E = 19 \text{ cm}$$

- **Cálculo de la longitud teórica de avance**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 7 es la siguiente:

$$L_{ta} = 8 \text{ pies} - 0.5 \text{ pies}$$

$$L_{ta} = 7.5 \text{ pies}$$

$$L_{ta} = 2.2 \text{ m}$$

- **Cálculo de volumen teórico roto**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 8 es la siguiente:

$$V_{tr} = 9.73 \text{ m}^2 \times 2.2 \text{ m}$$

$$V_{tr} = 22.23 \text{ m}^3$$

- **Cálculo de tonelaje teórico roto**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 9 es la siguiente:

$$T_t = 22.23 \text{ m}^3 \times 2.85 \text{ Tn/m}^3$$

$$T_t = 63.36 \text{ Tn}$$

- **Cálculo de explosivo total para el disparo (teórico)**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 10 es la siguiente:

$$E_t = 1.3 \text{ K/m}^3 \times 22.23 \text{ m}^3$$

$$E_t = 28.899 \text{ Kg}$$

- **Cálculo de carga de explosivo promedio por taladro (teórico):**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 11 es la siguiente:

$$C_{pt} = 28.899 / 28$$

$$C_{pt} = 1.03 \text{ Kg}$$

- **Cálculo del factor de potencia**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 12 es la siguiente:

Cálculo del volumen real removido.

$$V_r = 9.73 \text{ m}^2 \times 2.0 \text{ m}$$

$$V_r = 19.46 \text{ m}^3$$

Cálculo del tonelaje real removido:

$$T_t = 19.46 \text{ m}^3 \times 2.85 \text{ Tn/m}^3 = 55.461 \text{ Tn}$$

FP = kg de explosivo total / toneladas métricas extraídas.

$$FP = 28.899 \text{ Kg} / 55.461 \text{ Tn}$$

$$FP = 0.52 \text{ Kg/Tm}$$

- **Cálculo del factor de carga (FC)**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 13 es la siguiente:

FC = Kg de explosivo total / metros de avance.

$$FC = 28.899 \text{ kg} / 2 \text{ m} = 14.45 \text{ kg/m}$$

- **Cálculo de la eficiencia de perforación (EP)**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 14 es la siguiente:

$$EP (\%) = \text{Longitud promedio de taladros} / \text{longitud teórica de taladro} \times 100$$

$$EP = (2.1 / 2.2) \times 100$$

$$EP = 95 \%$$

- **Cálculo de la eficiencia de voladura (EV)**

En el anexo 4, se visualiza el cálculo del burden máximo cuyo resultado según los datos reemplazado en la fórmula N.º 15 es la siguiente:

$$EV (\%) = \text{Avance real} / \text{longitud promedio de perforación} \times 100$$

$$EV = (2 / 2.1) \times 100$$

$$EV = 95 \%$$

En la tabla siguiente se muestra el diseño de malla de perforación y voladura con sección 2.4 x 2.7 metros de la Galería 10316.



Figura N. 10: Carga desacoplada de la columna explosiva en los taladros de la corona en la Galería 10316.

Fuente: Propia.

Comentario

Con este replanteo del diseño de malla de P y V, se pudo descartar en su totalidad los tiros fallados. Por otro lado, la finalidad con la que se realizó la voladura controlada es la siguiente:

- Reducir las vibraciones en la roca remanente
- Disminuir el *overbreak* y/o sobre rotura en las labores de avance.
- Lograr tener una sección controlada.

En la siguiente figura se muestra uso de tocos de arcilla en la voladura del frente de la Galería 10316.



Figura N. 11: Uso de tocos de arcilla en la voladura del frente de la Galería 10316.

Fuente: Propia

Comentario

El uso de tocos de arcilla, tiene una gran ventaja puesto que no permite que los gases puedan escapar, aprovechando así la energía que producen los explosivos.

- Se aplicó voladura controlada en cada uno de los disparos controlando la sección de la labor
- No se ha podido realizar más disparos de 8 pies, aunque se tuvo la labor con terreno medianamente desfavorable.
- El consumo de explosivos es menor, a comparación con el estándar.
- Al realizar la voladura controlada nos arroja resultados positivos, puesto que se genera menor carga y/o material, por ende, el ciclo de minado es más rápido.
- El uso de tocos inertes de arcilla; aprovechamos mejor la energía de los explosivos.

B. Mejora de la fragmentación y dilución de la Galería 10316

Se realizó el análisis comparativo de la fragmentación después del disparo desarrollado en el escenario situacional y el escenario de mejora.

1 Escenario situacional de la fragmentación y dilución de la Galería 10316

Una vez realizada el disparo de la galería se obtuvo un avance efectivo de 1.70 metros con una barra de 8 pies, lo cual es muy deficiente.

Se ha empleado explosivos Semexsa 7/8" x 7" 65 %: encartuchado en los taladros en general menos en la corana y Exadit 7/8" x 7" 45 %: encartuchado para la corona de la Galería 10316. A continuación, en la figura siguiente se observa el resultado de la fragmentación del disparo en el escenario situacional.



Figura N. 12: Escenario situacional de la fragmentación de la Galería 10316.

Fuente: Propia.

A continuación, se muestra la fragmentación de la Galería 10316.

Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C.

La Galería de profundización 10316 nivel 2470 de la Zona de Valeria IV

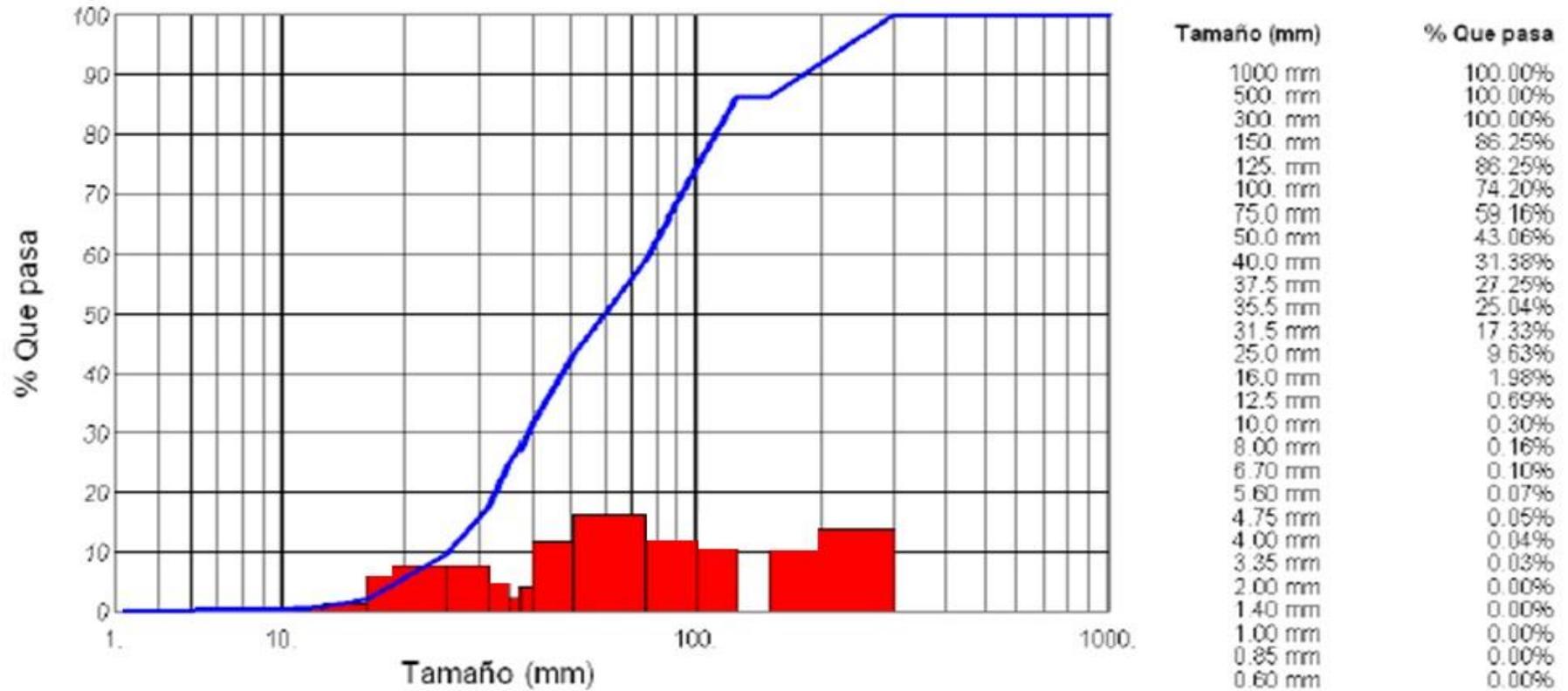


Figura N. 13: Escenario situacional-evaluación de la fragmentación de la Galería 10316.

Fuente: Propia.

Comentario

De la figura se observa que el P 80 % de material disparado pasa por una malla de 5.17 pulgadas y el 90 % de material disparado pasa por un malla de 5.17 pulgadas.

A continuación, se muestra la figura de la dilución de mineral de la Galería 10316.



Figura N. 14: Escenario situacional evaluación de la sobre excavación y dilución de la Galería 10316

Fuente: Propia.

Comentario

El resultado del disparo del escenario situacional en la perforación y voladura se obtenido grandes bancos el cual se aprecia que la dilución es mayor al 18 % en los hastiales y un 10 % de la corona, el cual ha generado que la sección de labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.7 x 2.8 metros.

2 Escenario de mejora en la fragmentación y dilución de la Galería 10316

Una vez realizado el disparo se obtuvo como resultado una sección de 2.45 x 2.73 metros, con un avance lineal tras el disparado de 2.07 metros con una barra de 8 pies, lo cual es muy eficiente.

Se ha empleado explosivos EMULNOR (3000, 1000 y 500) 1" x 1/8" x 16"-65 % encartuchado en los taladros en general, menos en el arranque que se emplea EMULNOR 5000 1" x 1/4" x 12"-75 % encartuchado para el arranque de la Galería 10316, en el control de la corona se realizó la carga desacoplada a fin de no generar sobre roturas.



Figura N. 15: Escenario de mejora de la fragmentación de la Galería 10316.

Fuente: Propia.

A continuación, se muestra el análisis de la fragmentación de la Galería 10316.

Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C.

La Galería de profundización 10316 nivel 2470 de la Zona de Valeria IV

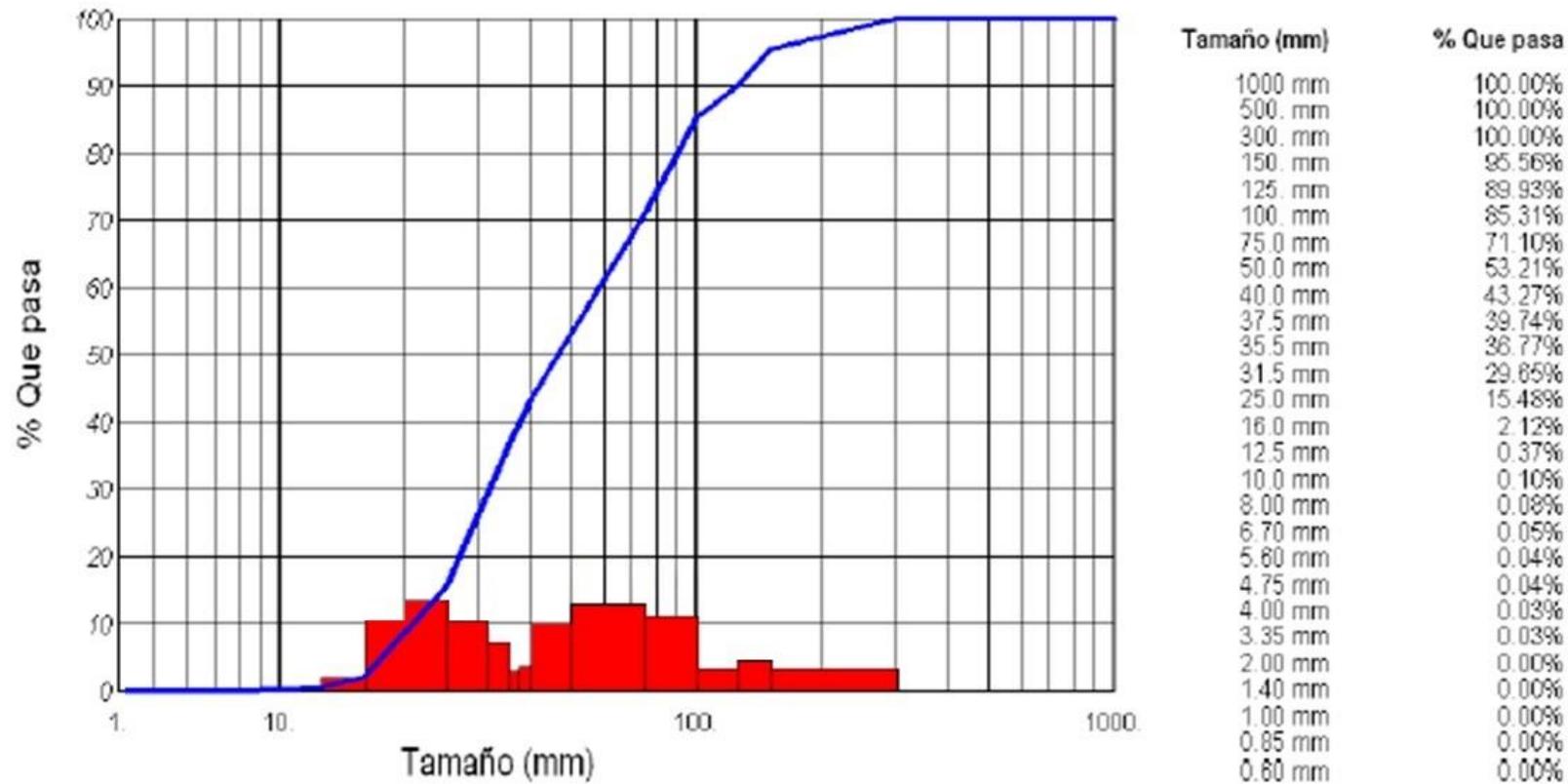


Figura N. 16: Escenario de mejora-evaluación de la fragmentación de la Galería 10316.

Fuente: Propia.

Comentario

De la figura se observa que el P 80 % de material disparado pasa por una malla de 3.79 pulgadas y el 90 % de material disparado pasa por una malla de 4.93 pulgadas

A continuación, se muestra la dilución de mineral de la Galería 10316.



Figura N. 17: Escenario de mejora evaluación de la sobre excavación y dilución de la Galería 10316.

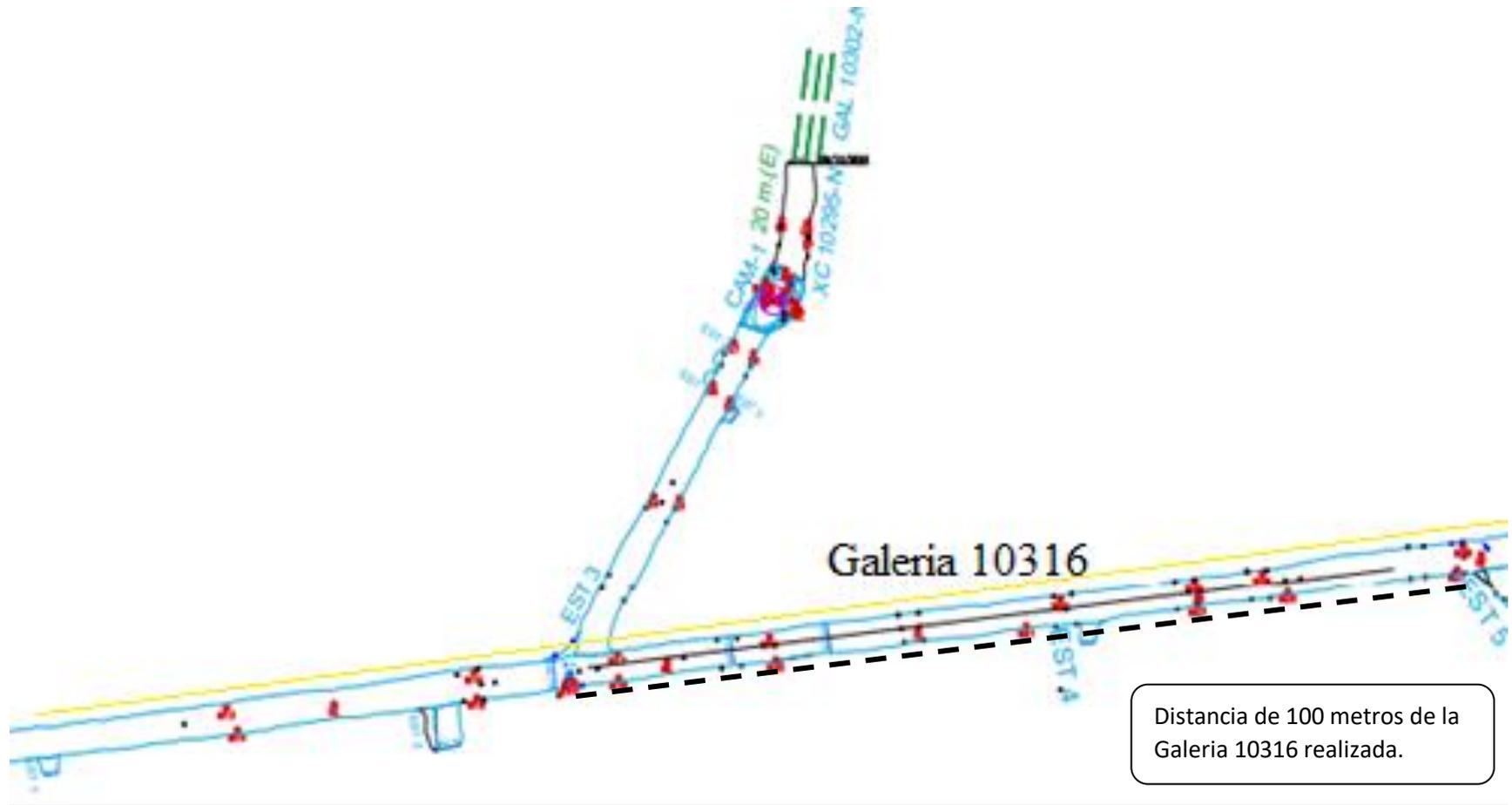
Fuente: Propia.

Comentario

El resultado del disparo del escenario de mejora en la perforación y voladura obtuvo una fragmentación adecuada con una dilución es promedio del 8 % en los hastiales y un 5 % de la corona, lo cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.45 x 2.73 metros. Lo cual es satisfactorio en el avance y desarrollo de la Galería 10316.

4.1.2 Reducción del costo de perforación y voladura por metro lineal de avance de la Galería 10316 en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad

Para finalizar se tiene la mejora del costo de perforación y voladura por metro lineal de avance en función a la extensión a desarrollar en la Galería 10316 es de 100 metros lineales como se muestra en la siguiente figura longitudinal de la programación de avance lineal de la Galería 10316.



Distancia de 100 metros de la Galería 10316 realizada.

Figura N. 18: Plano longitudinal de la programación de avance lineal de la Galería 10316

Fuente: Área de operaciones de la MARSA (8)

Todo el tramo de la programación de la Galería 10316 es de 100 metros lineales en la siguiente tabla comparativa se muestra el avance lineal en relación al escenario situacional y el escenario de mejora.

A. Evaluación del costo lineal de la perforación y voladura de la Galería 10316

1. Escenario actual

En el anexo 6, se muestra las deficiencias de los parámetros de P y V perforación y voladura de la Galería 10316. El costo total por metro lineal de avance es de **\$/ 529.25 dólares americanos**.

2. Escenario óptimo de la Galería 10316.

En el anexo 7, se muestra las deficiencias de la P y V total por metro lineal de avance es de **\$/ 517.18 dólares americanos**.

3. Comparación de la optimización del costo lineal de la perforación y voladura de la Galería 10316.

- **Análisis del avance lineal promedio en relación al antes de la mejora**

En el anexo 6 se muestra el costo total por disparo según el diseño de malla de perforación del escenario situacional, que engloba los costos de mano de obra, los costos de aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos de operación y explosivos y/o accesorios, que sumado todo nos da como resultado un costo total de \$ 428.94.

Tabla N. 2: *Análisis del avance lineal antes de la mejora*

Número de disparos	Zona	Labor	Nivel	sección programada		Longitud de barra real (pies)	Eficiencia de disparo en promedio (%)	Avance lineal real (m)	Tonelaje (ton)						
				Ancho (m)	Alto (m)										
1							79.0	1.8	5.1						
2							75.0	1.7	4.9						
3							80.0	1.8	5.2						
4							75.0	1.7	4.9						
5	Valeria IV	GL 10316	2470	2.4	2.7	7.5	85.0	1.9	5.5						
6							77.0	1.8	5.0						
7							75.0	1.7	4.9						
8							80.0	1.8	5.2						
9							75.0	1.7	4.9						
10							78.0	1.8	5.1						
Cantidad total								17.8	50.8						

Fuente: Propia.

Comentario

De la figura se puede apreciar un avance lineal en promedio de 1.78 metros. Con respecto a este avance lineal, se obtuvo un costo total por avance de 240.87 \$/ml

- **Análisis del avance lineal promedio en relación al antes de la mejora**

En el anexo 7 se muestra el costo total por disparo según el diseño de malla de perforación del escenario situacional, que engloba los costos de mano de obra, los costos de aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos de operación y explosivos y/o accesorios, que sumado todo nos da como resultado un costo total de \$ 439.21.

Tabla N. 3: *Análisis del avance lineal después de la mejora*

Número de disparos	Zona	Labor	Nivel	sección programada		Longitud de barra (pies)	Eficiencia de disparo en promedio (%)	Avance lineal real (m)	Tonelaje (ton)						
				Ancho (m)	Alto (m)										
1							87.0	2.0	5.7						
2							85.0	1.9	5.5						
3							88.0	2.0	5.7						
4							92.0	2.1	6.0						
5	Valeria IV	GL 10316	2470	2.4	2.7	7.5	88.0	2.0	5.7						
6							93.0	2.1	6.1						
7							90.0	2.1	5.9						
8							90.0	2.1	5.9						
9							85.0	1.9	5.5						
10							90.0	2.1	5.9						
Cantidad total								20.3	57.9						

Fuente: Propia,

Comentario

De la figura se puede apreciar un avance lineal en promedio de 20.3 metros. Con respecto a este avance lineal, se obtuvo un costo total por avance de 216.36 \$/ml.

Análisis de mejora

- ✓ Se ha logrado mejorar el avance en relación a las mejoras realizadas con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura, tras los 10 disparos se logró mejorar en 2.49 metros más.
- ✓ La reducción del costo total por metro lineal de avance es de 24.51 \$/ml.
- ✓ Realizando la comparativa de costos totales en la programación de los 100 metros lineales de avance de la Galería 10316, del escenario actual y el óptimo, la reducción del costo total en función a la situación óptima es de \$ **2451.05**.

B. Evaluación del costo de carguío y acarreo de la Galería 10316

En el anexo 8, se muestra la estructura de costo de transporte del mineral de la Galería 10316 del escenario actual y en el anexo 9, se muestra la estructura de costo de transporte del mineral de la Galería 10316 del escenario óptimo.

Tabla N. 4: *Comparación del factor de esponjamiento y el tonelaje total a extraer de la Galería 10316.*

Labor referencial	Galería 10316
Tipo roca	granito, granodiorita y diorita
Longitud de galería (m)	100
Densidad (ton/m ³)	2.85

Fuente: Propia.

Tabla N. 5: Comparación del factor de esponjamiento y el tonelaje total a extraer de la Galería 10316.

		Actual	Óptima
Sección programada	Ancho (m)	2.40	2.40
	Altura (m)	2.70	2.70
Sección ejecutado	Ancho (m)	2.70	2.45
	Altura (m)	2.80	2.73
Avance efectivo por disparo		1.78	2.03
Área. Insitu (m2)		5.91	5.91
Área. Rota (m2)		6.87	6.10
Volumen Insitu (m³) por metro de avance		5.91	5.91
Volumen Roto (m3) por metro de avance		6.87	6.10
% Factor Esponjamiento		16 %	3 %
Toneladas total (ton)		1958.11	1738.25

Fuente: Propia.

Comentario

En el escenario actual el factor de esponjamiento es de 16 % y en el escenario óptimo el factor de esponjamiento es de 3 %.

En el escenario actual el tonelaje total es de 1958.11 toneladas y en el escenario óptimo el tonelaje total es de 1738.25 toneladas.

Tabla N. 6: Comparación del costo total de carguío y acarreo de la Galería 10316.

Escenario	Actual	Óptima	Unidades
Capacidad nominal	35	529.72	pie3
Factor de conversion	0.02831	0.02831	1pie3 a m3
Factor de llenado	0.85	0.85	
Factor de esponjamiento	0.16	0.03	
densidad del mineral	2.45	2.76	ton/m3
Cantidad de equipos	Cantidad de carros de U 35	Cantidad de volquetes	unid.
	8.00	1	
Tonelaje por acarreo	Tonelaje por carrito	Tonelaje por volquete	ton
	1.73	34.10	
Toneladas acarreada	Toneladas acarreada por convoy	Toneladas acarreada por volquete	ton
	13.84	34.10	
Recorrido de la Galería 10316 a cancha de acumulación	15.00	15.00	km
Costo de carguío y acarreo (\$/ton - km)	Locomotora	Scooptram Eprioc ST2G	\$/ton -km
	0.838	0.441	
Costo total de carguío y acarreo (\$/ton)	13	7	\$/ton
Número de viajes	141	51	unidad
costo total de carguío y acarreo	24,622	11,502	\$
Optimización	13,120	\$	

Fuente: Propia.

Comentario

En el escenario antes de la mejora el costo total de carguío y acarreo con locomotora es de 24,622 dólares y en el escenario después de la mejora el costo total de carguío y acarreo con Scooptram es de 11,502 dólares. La optimización del costo total de carguío y acarreo con locomotora es de 13,120 dólares.

C. Evaluación del costo de chancado de la Galería 10316

En la siguiente tabla se muestra la evaluación del costo de chancado de la Galería 10316.

Tabla N. 7: *Evaluación del costo de chancado de la Galería 10316.*

Operación unitaria	Actual	Óptima	Unidades
Costo de planta	2.16	2.15	US\$/tms
Costo de planta del Toneladas total	4230	3737	US\$
Optimización	492	\$	

Fuente: Propia.

Comentario

En el escenario actual, el costo total de planta de toneladas es de 4230 dólares y en el escenario óptimo el costo de planta de toneladas total es de 3737 dólares. La optimización del costo de planta de las toneladas total es de 492 dólares.

D. Resumen del costos de operación unitaria de la Galería 10316

En la siguiente tabla se muestra el resumen el costo de operación unitaria de la Galería 10316.

Tabla N. 8: *Resumen del costos de operación unitaria de la Galería 10316*

Operación unitaria	Actual	Óptima	Optimización	Unidades
Costo total de perforación y voladura por tonelada	84.5	75.9	8.6	US\$/ton
Costo total de carguío y acarreo (\$/ton)	Locomotora	Scooptram Epric ST2G	6	US\$/ton
	13	7		
Costo de planta real	2.16	2.15	0.01	US\$/tms

Fuente: Propia.

Comentario

- El costo total de perforación y voladura por tonelada en el escenario actual es de 84.5 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 75.9 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 8.6 \$ / metro de avance.
- El costo total de carguío y acarreo por tonelada en el escenario actual es de 13 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 7 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 6 \$ / ton.
- El costo de planta por tonelaje en el escenario actual es de 2.16 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 2.15 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 0.01 \$ / ton.

CONCLUSIONES

1. En la Galería 10316, se encuentran estructuras geológicas como fallas y diaclasas que comprenden en 4 familias de discontinuidades principales, con presencia de rocas como el granito, granodiorita y diorita, con presencia de alteraciones con RMR 51-60, de tipo de roca regular “A” III.
2. En el escenario actual tras los disparos, se obtuvo una sobre excavación de 20 centímetros en promedio por encima del estándar de sobre excavación que viene hacer de 5 centímetro, con un avance efectivo de 1.7 metros con barra cónica de 8 pies el cual es deficiente, ya que el estándar del avance efectivo por disparo se avanza 2.0 metros, barra de 8 pies y el factor de potencia tras el disparo es de 0.95 kg/ton, el cual es deficiente, ya que el estándar del factor de potencia tras el disparo es de 0.90 kg/ton.
3. La causa de las deficiencias se ha obtenido grandes bancos afectando así en la dilución con mayor del 18 % en los hastiales y un 10 % en la corona, el cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.7 x 2.8 metros. El resultado del disparo del escenario de mejora en la perforación y voladura se obtenido una fragmentación adecuada con una dilución en promedio del 8 % en los hastiales y un 5 % por ciento de la corona, el cual ha generado que la sección de la labor se incremente de 2.4 x 2.7 metros a 2.45 x 2.73 metros. Lo cual es satisfactorio en el avance y desarrollo de la Galería 10316
4. El costo total de perforación y voladura por metro lineal de avance, antes de la mejora es de 240.87 \$ / metro de avance y después de la mejora realizada es de 216.36 \$ / metro de avance, obteniéndose una optimización de 24.51 \$ / metro de avance. El costo total de carguío y acarreo con locomotora en el escenario antes de la mejora es de \$/ 24,622 y en el escenario después de la mejora el costo total de carguío y acarreo con Scooptram es de \$/ 11,502, obteniéndose una optimización de \$/ 13,120.
5. El costo total de perforación y voladura por tonelada en el escenario actual es de 84.5 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 75.9 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 8.6 \$ / metro de avance.
6. El costo total de carguío y acarreo por tonelada en el escenario actual es de 13 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 7 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 6 \$ / ton.
7. El costo de planta por tonelaje en el escenario actual es de 2.16 \$ / ton y en el escenario óptimo es de 2.15 \$ / ton. y se obtuvo una optimización de 0.01 \$ / ton.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda desarrollar la caracterización del tipo de roca conjuntamente con los planos geológicos con la finalidad de determinar qué tipo de columna de perforación y que tipo de malla de perforación y voladura es el ideal para el tipo de roca que se está trabajando.
2. Se sugiere, ante las deficiencias de la salida del arranque o ante la sobre rotura en el disparo, realizar el replanteo del burden y espaciamiento con la finalidad de asegurar la salida del frente de avance
3. Se exhorta realizar una comparativa de costos de avance lineal ante las optimizaciones realizadas para determinar si ha futuro se está mejorando o se está teniendo pérdidas en los costos que engloba toda la actividad del disparo de los frentes de avance.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GONZALEZ, B. *Optimización de los procesos de perforación y voladura en la Sociedad Minera Nueva Rojas, concesión Bella Rica, Camilo Ponce Enríquez-Azuay*. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Cuenca: Universidad del Azuay, 2022.
2. GONZALES, J. *Reducción de costos operativos en labor Carmen Nv. 3040 mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S.A -2018*. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2019.
3. ARTEAGA, J. *Minado selectivo para explotar vetas angostas de oro en la Minera Marsa S.A. Pataz-Región la Libertad*. Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2020.
4. Área Administrativa. *Informe de ubicación de la Minera Aurífera Retamas S.A. Pataz-Perú: Minera Aurífera Retamas S.A, 2022*.
5. INSTITUTO de Ingeniero de Minas del Perú. *Planificación estratégica en minería subterránea: agregando valor con simulación e incertidumbre*. [En línea] 11 de 06 de 2022. [Citado el: 25 de 07 de 2023.] <https://www.revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/planificacion-estrategica-en-mineria-subterranea:-agregando-valor-con-simulacion-e-incertidumbre>.
6. Naranjo A. y Soto, C. *Efecto de los parámetros geomecánicos en el fracturamiento hidráulico de yacimientos de hidrocarburos sensibles a esfuerzo*. 11: 11, 2017. 0120 3630.
7. Infraspeak Team. *Disponibilidad vs. Fiabilidad vs. Mantenibilidad: ¿Cuál Es la Diferencia?* [En línea] 30 de 10 de 2020. [Citado el: 25 de 07 de 2023.] <https://blog.infraspeak.com/es/disponibilidad-fiabilidad-mantenibilidad/>.
8. Área de Operaciones. *Informe de perforación y voladura de la Minera Aurífera Retamas S.A. Pataz-Perú: Minera Aurífera Retamas S.A, 2023*.
9. BERROA, E. *Optimización de las operaciones mineras mediante la profundización de la rampa negativa entre los niveles 2900-2650 VANKAR EIRL SAC Minera Aurífera Retamas S.A. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2016*.
10. LÓPEZ, V. *Manual para la selección de métodos de explotación de minas*. México: Facultad de ingeniería Universidad nacional Autónoma de México, 1994.
11. Yepes, V. *Método de Langefors y Kihlström para voladuras en banco de pequeño calibre*. España: s.n., 2015.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

1) Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo se realizará la optimización de los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad?	Optimizar los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.	La optimización de los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316, influye positivamente en el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo será el resultado de la fragmentación del mineral de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad? 	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar la fragmentación del mineral de la Galería 10316 para controlar la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad 	<ul style="list-style-type: none"> La fragmentación del mineral de la Galería 10316, será factible y viable mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuánto será la reducción del costo de avance lineal de la Galería 10316 mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad? 	<ul style="list-style-type: none"> Reducir el costo de avance lineal de la Galería 10316 mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad 	<ul style="list-style-type: none"> La reducción del costo de avance lineal de la Galería 10316 será factible y viable mediante el control de la sobre dilución de mineral en la Empresa Contratista Minera Tauro S.A.C. La Libertad

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Geología regional

1. Geología regional

La parte de la geología comprende rocas volcánicas sedimentarias plutónicas y metamórficas, las rocas más antiguas están representada por las filitas proterozoicas (9). Las deformaciones plásticas de las filitas denotan cuatro eventos tectónicos:

- Metamorfismo que debe haber tenido lugar alrededor de la transición precámbrica (9).
- Paleozoico donde las rocas volcánicas se encuentran solo en la parte superior fracturadas pizarras ordovicenses con graptolites (9).
- El desarrollo geológico está caracterizado desde el jurásico medio por el levantamiento de la cordillera oriental y una escasa sedimentación donde se distingue el grupo Goyllarisquizga del neociano (9).

Dentro del contexto regional se aprecian rocas que abarcan desde el precámbrico con el Complejo Marañón de edad Precámbrica, las formaciones Goyllarisquizga, Crisnejas, Chota, depósitos recientes, y rocas intrusivas del Paleozoico (9)

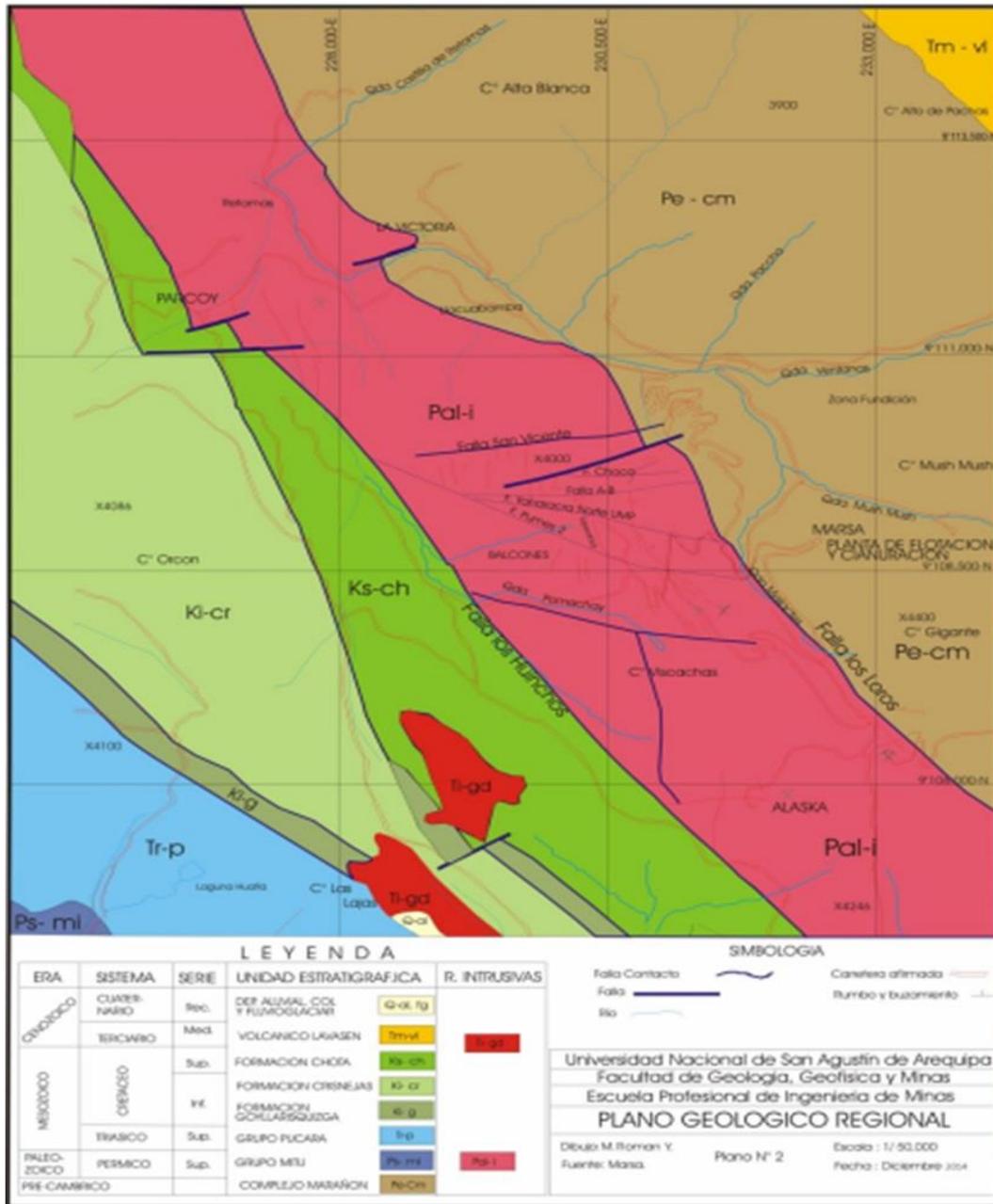


Figura N. 19: Columna estratigráfica regional

Fuente: Departamento de administración de MARZA (4)

2. Geología local

La zona de la Mina El Gigante, debajo de la cubierta Cuaternaria se extiende el Intrusivo de Pataz, de naturaleza félsica a metafélsica; en este se hospedan las vetas auríferas (9).

A. Rocas intrusivas

El intrusito está constituido por 2 facies plutónicas: 1ra facie, microdiorita-diorita; 2da facie, granodiorita-granito (9).

B. Rocas metamórficas

“Representada por el Complejo del Marañón. Constituida por pizarras oscuras y filitas grisáceos, intercaladas con pequeñas capas de esquistos cloritizadas y metavolcánicos; se hallan expuestas en lado NE del Batolito de Pataz”, en las quebradas Ventanas, Mushmush, Molinetes, Los Loros y San Vicente; encontrándose plegadas, falladas y/o perturbadas por varios eventos de natamorfismo dinámico e ígneo” (9).

C. Rocas sedimentarias

Conformada por la secuencia sedimentaria del Paleozoico y mezoico que aflora al SW del “Batolito de Pataz”, desde Alaska por el Sur hasta Cachica por el Norte (correspondiente a nuestra zona de interés) (9).

D. Depósitos cuaternarios

Los depósitos Cenozoicos, constituidos por suelos residuales, coluviales, fluvio-glaciares y aluviales, se extienden cubriendo gran parte del área con espesores que varían de 1 a 50 mts., formando un relieve abrupto con vegetación de Puna (9).

3. Geología estructural.

Los yacimientos minerales magmátogenos según las condiciones de su formación están relacionados con los procesos geoquímicas de las partes profundas de la corteza terrestre (9).

El sistema hidrotermal ha estado activo por mucho tiempo en varias etapas de reactivación tectónica y depósitos de cuarzo y sulfuros (9).

4. Mineralogía

La mineralogía del yacimiento incluye los siguientes minerales la siguiente:
Sulfuros: Pirita, calcopirita, galena, esfalerita.

- Óxidos: Cuarzo, limonita, magnetita
- Sulfosales la siguiente: Arsenopirita
- Carbonatos: Calcita, sericita

“Dentro de las vetas de Cuarzo aurífero, la pirita es el sulfuro más abundante, la arsenopirita es el mineral que le sigue en abundancia, la Galena, que es típica en esta asociación mineral se observa en zonas de oxidación de los filones, formando agregados de grano fino y otros en forma masiva; la esfalerita no es muy frecuente, se presenta en la zona de sulfuros, acompañando a la galena y pirita” (9).

- Oro (9).
- Pirita (9).
- Galena (9).
- Esfalerita (9).
- Calcopirita (9).

Anexo 3. Descripción del método de minado por corte y relleno

A. Preparación del Método Corte y Relleno

“Se divide el filón(veta) o manto, en bloques de mineral (ore body) de acuerdo a las “Reglas Generales para la división de un Yacimiento para su Explotación”; aprovechando de dos galerías consecutivas: inferior y superior y a ambos costados por chimeneas laterales, quedando delimitados los ore body para empezar con la explotación propiamente dicha, en los que se establece un orden determinado de acuerdo a un planeamiento elaborado (leyes, volumen ciclo de minado, relleno etc.)” (10)

1. Explotación del Método Corte y Relleno

“En la explotación por corte y relleno, se empieza generalmente por la parte inferior del block de mineral dejando un puente de mineral sobre la galería inferior y corriendo una franja horizontal (subnivel) dentro de los límites del block o cuartel, cuando el mineral es de alta ley, existen alternativas para no dejar el puente y se utiliza sostenimiento artificial para recuperar el puente (lozas de concreto armado u otros tipos de sostenimiento)” (10)

“Cuando se ha arrancado la primera franja de mineral, se rellena el volumen correspondiente, este material sirve como plataforma para el laboreo de la franja siguiente a la vez como sostenimiento de los hastiales (cajas)” (10)

B. El ciclo de minado en este método Corte y Relleno

1. Perforación

“Taladros horizontales, se tiene dos caras libres y el rendimiento por metro perforado es mayor, así como el consumo de explosivos es menor, la perforación se efectúa con máquinas Jack leg” (10)

Taladros Verticales, se tiene que preparar inicialmente una pasadura como cara libre y luego efectuar la perforación con máquinas stoper o Jack leg, es más cómodo para perforar (10)

“Taladros Inclinados, que es una variación de los taladros verticales y tiene más ventaja en cuanto a la formación de la cara libre” (10)

De acuerdo a la potencia del filón o manto, la perforación de los taladros se efectúa en filas, cuyas mallas pueden ser en zigzag, triangulares o cuadradas (10)

2. Relleno

- **Detrítico:** “El relleno se introduce al área de explotación a través de chimeneas auxiliares construidas para este fin, luego se uniformiza a manera de franjas horizontales con los equipos adecuados (manual o mecánico) dejando la altura necesaria para continuar con el ciclo de minado” (10)
- **Hidráulico:** “Consiste en transportar un relleno constituido por material de grano fino, suspendido en una pulpa en base a agua, que se deja decantar en el tajeo relleno” (10)

3. Voladura

“Para el éxito de la voladura, es importante determinar el trazo de malla de perforación óptimo, con lo cual se logrará el grado de fragmentación adecuado del mineral para el manipuleo (carguío y transporte)” (10).

4. Limpieza (Carguío y Transporte)

“Es la operación unitaria que determina el rendimiento del método. La forma y tamaño del tajeo condiciona la limpieza de la labor respecto al tipo de equipo a utilizar: cucharas de arrastre (scraper), palas cavo neumáticas, mini Scoops etc. en general las distancias son de acuerdo al ratio de rendimiento de cada equipo” (10).

Anexo 4. Método de Langefors y Exsa

Aplicación del método de Langefors y Exsa

Calculando el área de la sección:
<p>Formula N.º 1:</p> $A = \left(\frac{2}{3} * B * H \right) + \frac{H}{18B} \left(\frac{H^2}{3} + 4B^2 \right)$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none">• B: es el ancho de la sección (m)• H: es alto de la sección (m)
<p>Formula N.º 2:</p> <p>Calculando el perímetro</p> $P = \sqrt{A} x 4$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none">• A: área
<p>Formula N.º 3:</p> <p>Calculando el número de taladros:</p> $N^{\circ} de Tal. = \left(\frac{P}{dt} \right) + (CxS)$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none">• P: "Perímetro de la sección del túnel"• dt : "Distancia del Taladro"• C: "Coeficiente o factor de roca"• S: "Área de la sección"
<p>Formula N.º 4:</p> <p>Determinación del número de taladros de alivio:</p> $L = 0.15 + 34.1 \phi - 39.4 \phi^2$ <p>donde:</p> <p>ϕ1: diámetro del taladro de alivio</p>
<p>Formula N.º 5:</p> <p>Calculando el diámetro equivalente:</p> $DH = dH \sqrt{N}$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none">• DH: diámetro de taladros vacío (uno solo) en mm• Dh: diámetro de los taladros vacíos en mm

- N: número de taladros vacíos

Formula N.º 6

Cálculo y diseño de malla de arranque:

Cálculo del Burden

$$B = k \times \text{Ø Tal. Alivio.}$$

Donde:

- B: burden
- K: factor del tipo de roca
- Ø Tal. Alivio: diámetro del taladro de alivio (DH)

Cálculo del espaciamento

$$E = B \times \sqrt{2}$$

Donde:

- B: burden
- E: espaciamento

Formula N.º 7

Longitud teórica de avance:

$$L_{ta} = L \text{ pies} - 0.5 \text{ pies}$$

Donde:

- L_{ta}: Longitud teórica de avance
- L pies la siguiente: Longitud de barra

Formula N.º 8

Cálculo de volumen teórico roto:

$$V_{tr} = S \times L_a$$

Donde:

- V_{tr}: volumen teórico roto
- S: sección de la labor
- L_a: longitud de avance

Formula N.º 9

Cálculo de tonelaje teórico roto:

$$T_t = V_{tr} \times \delta_r$$

Donde:

- V_{tr}: volumen teórico roto
- δ_r : densidad de roca

Formula N.º 10

Cálculo de explosivo total para el disparo (teórico):

$$E_t = F_c \times V_{tr}$$

<p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fc: Factor de carga • Vtr: volumen teórico roto
<p>Formula N.º 11</p> <p>Cálculo de carga de explosivo promedio por taladro (teórico):</p> $C_{pt} = E_t / N.º \ t$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • E_t: carga de explosivo promedio por taladro • N.º t: número de taladros
<p>Formula N.º 12</p> <p>Cálculo del Factor de potencia:</p> <p>cálculo del volumen real removido.</p> $V_r = S \times L_r$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • S: sección de la labor • L_r: longitud real <p>Calculando el tonelaje real removido:</p> $T_r = V_r \times \delta_r$ <p>Donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> • V_r: volumen real • δ_r: densidad de roca <p>FP = Kg de explosivo total / toneladas métricas extraídas</p>
<p>Formula N.º 13</p> <p>Cálculo del Factor de carga (FC):</p> $FC = \text{Kg de explosivo total} / \text{metros de avance.}$
<p>Formula N.º 14</p> <p>Cálculo de la Eficiencia de perforación (EP):</p> $EP (\%) = \text{Longitud promedio de taladros} / \text{Longitud teórica de taladro} \times 100.$
<p>Formula N.º 15</p> <p>Cálculo de la Eficiencia de voladura (EV):</p> $EV(\%) = \text{Avance real} / \text{Longitud promedio de perforación} \times 100$

Fuente: Método Matemático de Langefors y Exsa. (11)

Anexo 5. Fichas técnicas de explosivos

1. Ficha técnica



Descripción y composición

El EMULNOR® es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.

Tipos y usos

Para satisfacer los requerimientos del mercado, FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con los siguientes tipos:

- EMULNOR® 500.-
Para la voladura de rocas muy suaves.
- EMULNOR® 1000.-
Para la voladura de rocas suaves a intermedias.
- EMULNOR® 3000.-
Para la voladura de rocas intermedias a duras.
- EMULNOR® 5000.-
Para la voladura de rocas muy duras.

Su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo. En explotaciones y desarrollos mineros, en obras de ingeniería civil, en canteras, en taladros secos, húmedos e inundados, con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, pudiendo trabajar como columna explosiva o como "cebos" de iniciación de columnas de nitro-carbonitratos.

Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reintrese a la labor en menor tiempo, obteniéndose mejoras en los ciclos de trabajo, sin desmedro de la seguridad.

Transporte

Clase: 1
División: 1.1 D
N° ONU: 3241



Características técnicas

	EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
Densidad relativa (g/cm³)	0,90 ± 0,15	1,13 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,18 ± 0,1
Velocidad de confinada* (m/s)	4 400 ± 300	5 800 ± 300	5 700 ± 300	5 500 ± 300
Velocidad de detonación** (m/s) - sifonitrato**	3 500 ± 300	4 500 ± 300	4 400 ± 300	4 200 ± 300
Presión de detonación (kbar)	44	95	93	88
Energía (kcal/kg)	628	785	920	1010
Volumen normal de gases (l/kg)	952	920	880	870
Potencia relativa en peso (%) (***)	70	87	102	112
Potencia relativa en volumen (%) (***)	77	120	142	159
Sensibilidad al fulminante	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1,2 pulgadas de diámetro.
** Velocidad de detonación como sifonitrato de 1 pulgada de diámetro.
*** Potencia relativa referida a ANFO con potencia convencional de 100.

Presentación

	Material de caja	Capacidad de caja (Pza.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
EMULNOR® 500 1' x 7"	Cartón	318	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 500 1' x 8"	Cartón	294	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 30,0
EMULNOR® 1000 1' x 7"	Cartón	264	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 1000 1' x 8"	Cartón	230	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 1000 1' x 12"	Cartón	150	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 3000 1' x 7"	Cartón	260	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 3000 1' x 8"	Cartón	228	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 3000 1' x 12"	Cartón	144	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 5000 1' x 7"	Cartón	246	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 5000 1' x 8"	Cartón	210	25,0	26,5	38,8 x 45,6 x 28,2
EMULNOR® 5000 1' x 12"	Cartón	142	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0

Crear formas de empaque de acuerdo a pedido.



MANIPULEO Y ALMACENAMIENTO
Los explosivos y accesorios de voladura de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos peligrosos, por lo tanto requieren de condiciones en el manejo del producto. El manejo de los explosivos debe ser con el consentimiento por escrito de un especialista, al momento de su transporte, almacenamiento y uso, así como enterar debidamente a todo el personal involucrado en el manejo.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenamiento, manejo y uso de los explosivos en condiciones no autorizadas y autorizadas por la autoridad competente. Debe ser almacenado en lugares autorizados y zonas seguras, protegidos de la lluvia y el calor, y en concordancia con el nivel de compatibilidad, vigente de la autoridad competente.

ATENCIÓN
La información y recomendación aquí emitida no cubren necesariamente todos los aspectos del producto. Se deben consultar todos los datos de seguridad. La información, experiencia, investigación y pruebas realizadas por FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. sobre los productos aquí descritos, garantiza el correcto funcionamiento del producto en condiciones de uso de estas sugerencias. Este producto puede ser almacenado sin previa aviso.



Fuente: Famesa explosivos S.A.

Anexo 6. Costo lineal de la perforación y voladura en el escenario actual de la Galería 10316

2. Escenario situacional de los parámetros de perforación y voladura de la Galería 10316

Datos Técnicos: Perforación con Jackleg-Limpieza con locomotora y carros minero U-35					
Tipo de roca:	Media				
Ancho sección	2.4	m	Eficiencia de Perforación	78 %	
Alto sección	2.7	m	Eficiencia de disparo en promedio (%)	78 %	
Longitud de la Barra (pie)	8.0	pies	Longitud de Carga	1.19	m
Número de taladros en el Frente	43	tal	Avance Efecto	1.78	m
Número de taladros cargados	26	tal	Metros cúbicos / Disparo	11.54	m3
Factor de carga	17.5	Kg/m	Longitud de avance de perforación	1.8	mts
kilogramos de explosivos	30.0	Kg	kilogramos/ taladro	1.15	

Fuente: propia

Basado en datos de costos

3. Escenario situacional, costos de la mano de obra de la perforación y voladura de la Galería 10316

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Costo Total (\$)	Costo total (\$ / metro de avance)
1 Mano de Obra						39.28
Supervisor	tarea	1	20%	31.53	6.31	
Capataz	tarea	1	25%	22.52	5.63	
Bodeguero	tarea	1	20%	13.51	2.70	
Mecánico	tarea	1	20%	22.52	4.50	
Operador locomotora y carros m.	tarea	1	30%	25.23	7.57	
Maestro Perforista	tarea	1	100%	27.03	27.03	
Ayudante	tarea	1	100%	16.22	16.22	
2 Aceros de perforación						18.17
Aceite de Perforación	Gln	0.35	100%	5.80	2.03	
Barras de Perforación conicas 8 pies	mp	76.57	100%	0.21	16.22	
Brocas de perforación conica 38 mm	mp	76.57	100%	0.18	13.79	
Brocas de perforación conica 64 mm	mp	5.34	100%	0.06	0.31	
3 Herramientas						2.74
Lampa	pieza	1.00	100%	0.14	0.14	
Pico	pieza	1.00	100%	0.16	0.16	
Combo 6 Lbs	pieza	1.00	100%	0.10	0.10	
Llave Stilson de 8"	pieza	1.00	100%	0.07	0.07	
LLave Francesa 8"	pieza	1.00	100%	0.06	0.06	
Barretilla de 4'	pieza	1.00	100%	0.26	0.26	
Barretilla de 6'	pieza	1.00	100%	0.31	0.31	
Barretilla de 8'	pieza	1.00	100%	0.34	0.34	
Disco de jebe	pieza	1.00	100%	0.05	0.05	
Taco de Arcilla	pieza	26.00	100%	0.05	1.38	
Ocre Polvo Rojo	kg	0.13	100%	2.65	0.34	
Escaleras telescopicas	pieza	1.00	100%	1.48	1.48	
Arco de sierra + hoja	pieza	1.00	100%	0.17	0.17	
4 Implementos de Seguridad						4.36
Tareas sin ropa de agua	tareas	0.65	100%	2.27	1.48	
Tareas con ropa de agua	tareas	2.60	100%	2.42	6.29	
5 Equipos en Operación						49.68
Perforadora	mp	81.92	100%	0.10	8.31	
Manguera de jebe de 1"	m	30.00	100%	0.03	0.77	
Manguera de jebe de 1/2"	m	30.00	100%	0.01	0.33	
Locomotora a bateria	H m	1.00	100%	24.58	24.58	
Carro minero U 35	H m	8.00	100%	6.81	54.48	
6 Explosivos y Acc. Voladura						126.64
Emulnor 1000 1 1/8 x 16	kg	26	100%	2.11	53.93	
Emulnor 500 1 1/8 x 12	kg	4	100%	2.07	8.56	
cordón detonante 5p	mts.	25.00	100%	2.93	73.23	
Mecha rapida	mts.	0.10	100%	0.25	0.03	
Fanel LP	Pzas	26.00	100%	3.34	86.79	
Carmex 7 pies	Pzas	2.00	100%	1.50	2.99	
COSTO TOTAL (\$ / metro de avance)						240.87

Fuente: propia

Basado en datos de costos

**Anexo 7. Costo lineal de la perforación y voladura en el escenario
óptimo de la Galería 10316**

**1. Escenario de mejora de los parámetros de perforación y voladura de la Galería
10316**

Datos Técnicos: Perforación con Jackleg-Limpieza con locomotora y carros minero U-35					
Tipo de roca:	Media				
Ancho sección	2.4	m	Eficiencia de Perforación	89 %	
Alto sección	2.7	m	Eficiencia de disparo en promedio (%)	89 %	
Longitud de la Barra (pie)	8.0	pies	Longitud de Carga	1.35	m
Número de taladros en el Frente	37	tal	Avance Efecto	2.03	m
Número de taladros cargados	28	tal	Metros cúbicos / Disparo	13.15	m3
Factor de carga	16.8	Kg/m	Longitud de avance de perforación	2.0	mts
kilogramos de explosivos	33.5	Kg	kilogramos/ taladro	1.20	

Fuente: propia

Basado en datos de costos

2. Escenario de mejora, costos de la mano de obra de la perforación y voladura de la Galería 10316

Valorización de costos - GAL. 2.4 x 2.7 (JACKLEG)						
Taladros Perforados /disparo 37.0			Longitud efectiva Perforación mts 2.0			
Taladros cargados 28.0			Eficiencia perforación 89%			
Factor de carga (Kg/taladro) : 1.2			Rendimiento (m/disparo): 2.03			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	INCIDENCIA	P.U.	Costo Total (\$)	Costo total (\$ / metro de avance)
1 Mano de Obra						34.46
Supervisor	tarea	1	20%	31.53	6.31	
Capataz	tarea	1	25%	22.52	5.63	
Bodeguero	tarea	1	20%	13.51	2.70	
Mecánico	tarea	1	20%	22.52	4.50	
Operador Scooptram Epric ST2G	tarea	1	30%	25.23	7.57	
Maestro Perforista	tarea	1	100%	27.03	27.03	
Ayudante	tarea	1	100%	16.22	16.22	
2 Aceros de perforación						15.73
Aceite de Perforación	Gln	0.35	100%	5.80	2.03	
Barras de Perforación conicas 8 pies	mp	75.11	100%	0.21	15.91	
Brocas de perforación conica 38 mm	mp	75.11	100%	0.18	13.53	
Brocas de perforación conica 64 mm	mp	8.12	100%	0.06	0.47	
3 Herramientas						2.45
Lampa	pieza	1.00	100%	0.14	0.14	
Pico	pieza	1.00	100%	0.16	0.16	
Combo 6 Lbs	pieza	1.00	100%	0.10	0.10	
Llave Stilson de 8"	pieza	1.00	100%	0.07	0.07	
Llave Francesa 8"	pieza	1.00	100%	0.06	0.06	
Barretilla de 4'	pieza	1.00	100%	0.26	0.26	
Barretilla de 6'	pieza	1.00	100%	0.31	0.31	
Barretilla de 8'	pieza	1.00	100%	0.34	0.34	
Disco de jebe	pieza	1.00	100%	0.05	0.05	
Taco de Arcilla	pieza	28.00	100%	0.05	1.48	
Ocre Polvo Rojo	kg	0.13	100%	2.65	0.34	
Escaleras telescópicas	pieza	1.00	100%	1.48	1.48	
Arco de sierra + hoja	pieza	1.00	100%	0.17	0.17	
4 Implementos de Seguridad						3.83
Tareas sin ropa de agua	tareas	0.65	100%	2.27	1.48	
Tareas con ropa de agua	tareas	2.60	100%	2.42	6.29	
5 Equipos en Operación						30.39
Perforadora	mp	83.23	100%	0.10	8.45	
Manguera de jebe de 1"	m	30.00	100%	0.03	0.77	
Manguera de jebe de 1/2"	m	30.00	100%	0.01	0.33	
Scooptram Epric ST2G	Hm	1.00	100%	52.13	52.13	
6 Explosivos y Acc. Voladura						129.50
Emulnor 5000 1 1/4 x 12	kg	4.23	100%	2.23	9.42	
Emulnor 3000 1 1/8 x 16	kg	20.34	100%	2.38	48.35	
Emulnor 1000 1 1/8 x 16	kg	4.82	100%	2.11	10.15	
Emulnor 500 1 1/8 x 12	kg	4.13	100%	2.07	8.56	
cordón detonante 5p	mts.	25	100%	2.93	73.23	
Mecha rápida	mts.	0.1	100%	0.25	0.03	
Fanel LP	Pzas	33	100%	3.34	110.15	
Carmex 7 pies	Pzas	2	100%	1.50	2.99	
COSTO TOTAL (\$ / metro de avance)						216.36

Fuente: propia

Basado en datos de costos

Anexo 8. Escenario actual estructura de costo de transporte de la Galería 10316

ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS - CARGUIO Y TRANSPORTE DE MINERAL

Transporte de mineral		
Produccion (ton/dia)	70	Ton
Densidad de Material	2.85	t/m3
Promedio en distancia	15.00	km
Equipos de carguio (locomotora)		
Traslado del equipo	0.5	hr
Factor de llenado real	33%	
Equipos de transporte (carro minero U35)		
Capacidad	35.00	m3
Factor de traslado real	90%	

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad (Personas)	Cantidad (incidencia)	Costo Unitario US\$/Unidad	Costo Parcial US\$	Costo Total US\$/ton-km
1.00	Carguio y transporte de mineral					656.26	0.63
1.01	Mano de Obra					26.76	
	supervisor	Gdia	1	20%	31.53	6.31	
	Operador de locomotora	Gdia	1	50%	22.52	11.26	
	Capataz	Gdia	1	20%	23.42	4.68	
	Mecánico	Gdia	1	20%	22.52	4.50	
1.02	Materiales e insumos					0.39	
	Lampa	unid	1	60%	0.28	0.17	
	Pico	unid	1	60%	0.37	0.22	
1.03	Equipos					592.93	
	Locomotora	hr	1.00	7.50	24.58	184.33	
	Costo de carro minero U35	hr	8.00	7.50	6.81	408.60	
1.04	Herramientas y EPP					36.18	
	Implementos de seguridad	Gdia	4.00		6.28	25.12	
	Herramientas	Gdia	1.00		6.44	6.44	
	Lamparas Mineras	Gdia	4.00		1.16	4.62	
TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/ton-km)							0.63
Utilidad Costo Directo					10%		0.06
Gastos generales (% del Costo Directo)					22%		0.14
COSTO TOTAL (US\$/ton-km)							0.838

Fuente: propia-Basado en datos de costos.

Anexo 9. Escenario óptimo estructura de costo de transporte de la Galería 10316

ESTRUCTURA DE PRECIOS UNITARIOS - CARGUIO Y TRANSPORTE DE MINERAL

Transporte de mineral		
Produccion (ton/dia)	71	Ton
Densidad de Material	2.85	t/m3
Promedio en distancia (ruta 1 y ruta 2)	15.00	km
Equipos de carguio (Scooptram)		
Consumo de Combustible	4.00	Gal/hr
Traslado del equipo	0.95	hr
Factor de llenado real	90%	
Equipos de transporte (Volquete volvo)		
Consumo de Combustible	3.00	Gal/hr
Capacidad	15.00	m3
Factor de traslado real	90%	
Traslado del equipo a la camara	0.5	hr

Item	Descripcion	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)	(incidencia)	US\$/Unidad	US\$	US\$/ton-km
1.00	Carguio y transporte de mineral					304.37	0.29
1.01	Mano de Obra						29.01
	supervisor	Gdia	1	20%	31.53	6.31	
	Operador de Volquete	Gdia	1	20%	22.52	4.50	
	Capataz	Gdia	1	20%	23.42	4.68	
	Mecánico	Gdia	1	20%	22.52	4.50	
	Operador Scoop	Gdia	1	40%	22.52	9.01	
1.02	Materiales e insumos						0.39
	Lampa	unid	1	60%	0.28	0.17	
	Pico	unid	1	60%	0.37	0.22	
1.03	Equipos						231.35
	Combustible	Gal	1	8.00	7.75	62.00	
	Scooptram Epric ST2G	hr	1	2.00	52.13	104.27	
	Volquete	hr	1	2.50	26.03	65.08	
1.04	Herramientas y EPP						43.62
	Implementos de seguridad	Gdia	5.00		6.28	31.41	
	Herramientas	Gdia	1.00		6.44	6.44	
	Lamparas Mineras	Gdia	5.00		1.16	5.78	
TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/ton-km)							0.29
Utilidad Costo Directo						10%	0.04
Gastos generales (% del Costo Directo)						22%	0.10
COSTO TOTAL (US\$/ton-km)							0.441

Fuente: propia-Basado en datos de costos.