



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA
MEDIANTE REDISEÑO DE MALLA Y CARGA EXPLOSIVA
ADECUADA EN LA GALERÍA SAN FERNANDO DE LA UNIDAD
SANTA MARÍA, CÍA MINERA PODEROSA S.A. - LA LIBERTAD**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDWIN YUCRA CALLOPAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

A mis queridos padres Valentín Yucra y Eufrasina Calloapaza gracias a sus enseñanzas y su apoyo incondicional, para poder salir adelante.

A mi prometida Maribel y a mis queridos hermanos por su apoyo y aliento moral para concluir las diferentes etapas de mi vida estudiantil.

Edwin.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme otorgado esta vida maravillosa, darme salud y esta vocación profesional.

A mi querida Facultad de Ingeniería de Minas, y a su plana docente por impartir los conocimientos científicos y tecnológicos referentes a la Ingeniería de Minas.

A la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, por haberme otorgado la oportunidad para desarrollar mi tesis.

Edwin.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 11

ABSTRACT..... 12

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 13

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 14

1.2.1. Pregunta general 14

1.2.2. Preguntas específicas 14

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 14

1.3.1. Hipótesis general 14

1.3.2. Hipótesis específicas 14

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

1.4.1. Objetivo general 15

1.4.2. Objetivos específicos 15

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... 15

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

2.2. MARCO TEÓRICO 23

2.2.1. Perforación y voladura 23

2.2.2. Trazos de arranque 23

2.2.3. Denominación y distribución de los taladros 27

2.2.4. Perforadoras..... 29

2.2.5. Aceros de perforación 30

2.2.6. Tipos de explosivos 32



2.2.7. Como se origina la voladura.....	41
2.2.8. Mecánica de rotura de rocas	45
2.2.9. Cálculos para la voladura	50
2.2.10. Costos y gastos	57
2.2.11. El costo según su asignación	59
2.3. DEFINICIÓN DE LOS TERMINOS CONCEPTUALES.....	60

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN	62
3.2. ACCESIBILIDAD	62
3.3. DISEÑO METODOLÓGICO	63
3.3.1. Tipo de investigación.	63
3.3.2. Alcance o nivel de investigación.....	63
3.3.3. Diseño de investigación.....	64
3.3.4. Enfoque de la investigación.	65
3.4. POBLACIÓN	66
3.5. MUESTRA	66
3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	66
3.6.1. Variable independiente.....	66
3.6.2. Variable dependiente	67
3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	67
3.7.1. Instrumentos para la toma de datos	68
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS	68

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	69
4.2. RESULTADOS POR OBJETIVOS	69
4.3. MALLA DE PERFORACIÓN ANTERIOR.....	69
4.4. MALLA DE PERFORACIÓN ACTUAL	70
4.4.1. Parámetros de campo utilizados	70
4.4.2. Número de taladros a perforar	71
4.5. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA ACTUAL.....	72
4.5.1. Velocidad de perforación	72
4.5.2. Eficiencia de disparo o avance por disparo.	72
4.5.3. Eficiencia de perforación o eficiencia de voladura	73



4.5.4. Número de cartuchos por taladro	73
4.6. COSTOS DE PERFORACIÓN ANTERIOR	74
4.7. COSTO DE PERFORACIÓN ACTUAL	77
4.7.1. Comparación de costos de perforación	80
4.8. DATOS DE LA VOLADURA ANTERIOR.....	81
4.8.1. Volumen fracturado.....	82
4.8.2. Tonelaje fracturado.....	82
4.8.3. Factor de carga explosiva	82
4.8.4. Factor de carga lineal	83
4.8.5. Factor de potencia del explosivo	83
4.9. DATOS DE LA VOLADURA ACTUAL.....	84
4.9.1. Datos de campo utilizados.....	84
4.9.2. Volumen fracturado.....	85
4.9.3. Tonelaje fracturado.....	85
4.9.4. Factor de carga explosiva	85
4.9.5. Factor de carga lineal	86
4.9.6. Factor de potencia del explosivo	86
4.10. COSTO TOTAL DE LA VOLADURA ANTERIOR.....	87
4.11. COSTO TOTAL DE LA VOLADURA ACTUAL	87
4.11.1. Comparación de los costos de voladura	87
4.12. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.....	88
4.12.1. Comparación de los costos de perforación y voladura.....	89
4.13. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTRAS FUENTES	90
V. CONCLUSIONES.....	91
VI. RECOMENDACIONES	92
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	93
ANEXOS.....	98

Área: ingeniería de Minas

Tema: análisis de costos mineros y comercialización de minerales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 14 de diciembre del 2022



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Densidad del explosivo.....	37
Tabla 2	Categorías de resistencia al agua.....	39
Tabla 3	Factor o coeficiente del tipo de roca.....	51
Tabla 4	Acceso hacia la Unidad Santa María por Vía Terrestre.....	62
Tabla 5	Acceso hacia la Unidad Santa María por Vía Aérea.....	63
Tabla 6	Operacionalización de variables.....	67
Tabla 7	Taladros perforados en la voladura anterior.....	70
Tabla 8	Taladros perforados en la voladura actual.....	73
Tabla 9	Mano de obra.....	74
Tabla 10	Costo de máquina perforadora.....	74
Tabla 11	Aceros de perforación.....	75
Tabla 12	Materiales de perforación.....	75
Tabla 13	Herramientas y otros materiales.....	75
Tabla 14	Equipos de protección personal.....	76
Tabla 15	Costo total de la perforación anterior.....	76
Tabla 16	Mano de obra actual reducido.....	77
Tabla 17	Costo de máquina perforadora actual reducido.....	77
Tabla 18	Costo de aceros de perforación actual reducido.....	78
Tabla 19	Costo de materiales de perforación actual reducido.....	78
Tabla 20	Costo de herramientas y otros materiales actuales reducido.....	79
Tabla 21	Costo de los equipos de protección personal actual reducido.....	79
Tabla 22	Costo total de la perforación actual reducido.....	80
Tabla 23	Explosivos Semexsa 65 utilizados en la voladura anterior.....	81
Tabla 24	Resultados de los parámetros de la voladura anterior.....	83
Tabla 25	Explosivos Semexsa 65 utilizados en la voladura actual reducido.....	84
Tabla 26	Resumen de los resultados de la voladura actual reducido.....	86



Tabla 27	Costo de materiales de la voladura anterior.	87
Tabla 28	Costos de materiales de la voladura actual.	87
Tabla 29	Resultados de perforación y voladura en la Galería San Fernando.	88
Tabla 30	Comparación de costos de perforación y voladura.	89



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cavidades formadas secuencialmente en un frente.....	24
Figura 2. Ubicación del corte inicial (arranque).....	25
Figura 3. Corte Quemado.....	26
Figura 4. Corte Cilíndrico.....	27
Figura 5. Designación de los taladros.....	28
Figura 6. Costos de perforación en la Galería San Fernando.	80
Figura 7. Costos de voladura en la Galería San Fernando.....	88
Figura 8. Costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando.	89



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

S.A.	: Sociedad Anónima
Cía.	: Compañía
m.s.n.m.	: metros sobre el nivel del mar
m	: metros
mm	: milímetros
m^3	: metros cúbicos
cc	: centímetros cúbicos
Tm	: toneladas
gr	: gramos
N° Tal.	: número de taladros
m/h	: metros por hora
US\$/m	: dólares por metro
US\$/ft	: dólares por pie
Tm/disp.	: toneladas por disparo
gr/t	: gramos por tonelada
US\$: dólares americanos
kg/m^3	: kilogramos por metro cubico
Tm/m^3	: toneladas por metro cubico
pp.	: pies perforados



RESUMEN

La Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, desarrolló la Galería San Fernando con una sección de 2,80 m x 3,0 m. con una longitud de 385 metros, en el tramo inicial se realizó la evaluación de las actividades de perforación y voladura, encontrándose problemas de elevados costos de perforación y voladura que ascienden a 325,39 US\$/m. El objetivo de este estudio de investigación fue reducir los costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla perforación y carga explosiva adecuada. La metodología utilizada fue de un enfoque cuantitativo y de tipo de investigación experimental, el diseño fue preexperimental de tipo longitudinal y comparativo. Para poder desarrollar el estudio de investigación, se tuvo que manipular la variable independiente al rediseñar de malla de perforación, para posteriormente observar y comparar su efecto en la reducción de costos de perforación y voladura, los controles se realizaron durante 24 guardias, los datos de campo fueron recopilados en las respectivas fichas de control. Al realizar el análisis y la comparación de costos se llegó a los siguientes resultados, el costo de perforación anterior era de 132,30 US\$/m y se redujo hasta 122,84 US\$/m, logrando una diferencia de 9,46 US\$/m, y el costo de voladura anterior era de 193,09 US\$/m y se redujo a 156,99 US\$/m, logrando una diferencia de 36,10 US\$/m. Se concluye que, con el rediseño de malla, se reducen los costos de perforación y con la carga explosiva adecuada se reducen los costos de voladura.

Palabras clave: costos, malla, perforación, rediseño, reducción, voladura.



ABSTRACT

The Santa María Unit of the Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, developed the San Fernando Gallery with a section of 2,80 m x 3,0 m. with a length of 385 meters, in the initial section the evaluation of drilling and blasting activities was carried out, finding problems of high drilling and blasting costs amounting to 325,39 US\$/m. The objective of this research study was to reduce drilling and blasting costs by redesigning drilling mesh and adequate explosive charge. The methodology used was a quantitative approach and experimental research type, the design was pre-experimental longitudinal and comparative. In order to develop the research study, the independent variable had to be manipulated when redesigning the drilling mesh, to subsequently observe and compare its effect on the reduction of drilling and blasting costs, the controls were carried out during 24 guards, the data of field were compiled in the respective control sheets. When carrying out the analysis and comparison of costs, the following results were reached; the previous drilling cost was 132,30 US\$/m and it was reduced to 122,84 US\$/m, achieving a difference of 9,46 US\$/m, and the previous blasting cost was 193,09 US\$/m and was reduced to 156,99 US\$/m, making a difference of 36,10 US\$/m. It is concluded that, with the mesh redesign, drilling costs are reduced and with the appropriate explosive charge, blasting costs are reduced.

Keywords: costs, mesh, drilling, redesign, reduction, blasting.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, está explotando un yacimiento mineral de oro utilizando el método de Corte y Relleno Ascendente (*cut and fill*) convencional, combinando los métodos convencionales (con rieles) y métodos trackless (sin rieles). Para la confirmación y recuperación del mineral, desarrolló la Galería San Fernando cuya sección es de 2,80 m x 3,0 m. con una profundidad de 385 m, al haber realizado la evaluación en el tramo inicial de 80 metros de avance, se encontraron problemas de elevados costos de perforación y voladura como también deficiencias en el avance lineal de la labor, ocasionado por un inadecuado diseño de malla, con burden y espaciamiento inadecuados que conlleva a un mayor número de taladros perforados haciendo que se eleven los costos de perforación, también se encontró problemas de carga explosiva inadecuada en los taladros, influyendo directamente en el incremento de consumo de explosivos por taladro elevando de esta manera los costos de voladura.

El costo total de las actividades de perforación y voladura en la Galería San Fernando fueron de 325,39 US\$/m este costo fue comparado con el costo y avance programado, resultando un costo elevado además de perjudicar el avance lineal de la Galería. Por estas razones se tuvo la necesidad de rediseñar la malla de perforación y determinar la adecuada carga explosiva, ya que, de haber seguido con el problema, el costo total de avance hubiera resultado excesivo para los 385 metros lineales de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo se reducen los costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad?

1.2.2. Preguntas específicas

- a) ¿Cuál es el rediseño de malla para la reducción de los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad?
- b) ¿Cuál es la carga explosiva adecuada para la reducción de costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Con el rediseño de malla y carga explosiva adecuada, se reducen los costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

1.3.2. Hipótesis específicas

- a) Rediseñando la malla, se reducen los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.
- b) Con la carga explosiva adecuada, se reducen los costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.



1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Reducir los costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Rediseñar la malla para reducir de los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.
- b) Determinar la carga explosiva adecuada para la reducción de costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El potencial mineralógico del conjunto de vetas que afloran en la superficie de las concesiones mineras de la Cía. Minera Poderosa S.A., pertenece al Batolito de Pataz y fue estimado sobre las 7 158 000 onzas de oro. La ley promedio de mineral estimado es de 12,56 gr/t y para explotar estas reservas mineralógicas son necesarias una variedad de labores subterráneas.

El desarrollo de la Galería San Fernando fue considerado de suma importancia ya que tuvo dos objetivos muy importantes, los cuales fueron la confirmación de la presencia mineralógica así como también permitir el acceso a la reserva mineral, por ende, también permite la extracción del mineral valioso y de esta manera poder explotar dicha reserva; al haberse encontrado problemas de elevados costos de perforación y voladura en el desarrollo de la Galería San Fernando este afectó directamente el avance lineal y la



ejecución de la misma sumando así una mayor pérdida económica para la empresa, ya que este contaba con un presupuesto que fue asignado para la ejecución de los 385 metros lineales de la Galería San Fernando, esto hizo que sea necesario realizar un estudio de investigación para reducir los costos en perforación y voladura y maximizar el avance lineal en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Se tuvieron problemas de altos costos en perforación y voladura a causa de que la malla de perforación no presentaba todos los parámetros basados en las características de la roca, como son, burden, espaciamiento, factor de carga explosiva, eficiencia del disparo, avance lineal y el número de taladros. Sumado a ello la ineficiencia de los maestros perforistas, ya que en algunos casos no respetaban los parámetros asignados para la malla de perforación. Por lo que mediante este estudio de investigación se planteó reducir dichos costos mediante el rediseño de malla de perforación y carga explosiva adecuada, en consecuencia, el presente estudio de investigación justifica totalmente su ejecución ya que generará costos reducidos en el desarrollo de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa – La Libertad.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Mamani (2020). “Optimización de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la galería N12 de la empresa minera SOTRAMI S.A – Ayacucho”. Cuyo objetivo fue optimizar el costo de producción por medio de la evaluación de las operaciones de perforación y voladura. La metodología utilizada fue de un enfoque cuantitativo y con un alcance descriptivo, donde realizó el control y toma de datos de campo para posteriormente analizarlo, Llegó a la conclusión de que al evaluar las operaciones de perforación el costo se reduce de 158,54 US\$/m hasta 141,88 US\$/m, logrando ahorrar 16,66 US\$/m, de igual manera el costo de voladura ha sido reducido desde 123,39 US\$/m hasta 97,73 US\$/m, logrando un ahorro de 25,66 US\$/m.

Condori (2019). “Minimización de costos en perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva en los tajeos Porvenir y Alicia de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa”. Tenía como objetivo minimizar los costos de perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla y carga explosiva adecuada. El estudio de investigación pertenece al descriptivo, ya que consistió en evaluar todo el proceso de perforación y voladura. Concluye que, con el nuevo diseño de malla la reducción de costos es de 509,82 US\$ hasta 412,79 US\$ logrando un ahorro de 97,03 US\$, y al determinar la adecuada carga explosiva los costos de voladura han sido reducidos de 402,57 US\$ a 346,83 US\$ haciendo una diferencia de 55,74 US\$.

Pino (2019). “Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa”. Cuyo objetivo fue optimizar el avance lineal en el frente de la galería San Jorge, con un



nuevo diseño de malla. La metodología según las características del trabajo de investigación es de tipo descriptivo, donde se realizó la recopilación de datos de campo de la malla anterior para posteriormente analizarlo. En dicho estudio se concluye que, el progreso lineal fue incrementado en 0,10 m/disp., con el nuevo diseño de malla, el número de taladros fue optimizado de 37 a 32 taladros perforados logrando reducir 05 taladros, los cuales influyen directamente en los costos de perforación en la galería San Jorge, el consumo de explosivos de Semexsa 65 fue reducido de 9,85 kg/m a 7,77 kg/m logrando una reducción de 2,08 kg/m.

De la Cruz (2018). “Optimización de costos en perforación y voladura estandarizando malla para sección 2.40m x 2.40m en la empresa cáncer e.i.r.l. – 100 marsa”. Se propuso optimizar los costos de perforación y voladura, mediante la estandarización de malla de perforación para frentes de una sección de 2,40 m x 2,40 m. El diseño metodológico fue de tipo experimental de un nivel descriptivo, ya que consistió en estandarizar una nueva malla en los frentes basado en el modelo matemático de Roger Holmberg. Concluyó que, en galerías, en las que se implementó el nuevo diseño de malla, se logró reducir el costo en S/. 86,61 equivalente al 11,59% del costo de perforación, la carga explosiva empleada anteriormente era de 24,15 kg para un avance de 1,51 m. ahora con la carga explosiva adecuada es de 19,99 kg se obtiene un avance de 1,59 m, logrando un incremento de 0,08 m.

Araca (2018). “Optimización de costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. Arequipa”. Cuyo objetivo era optimizar los costos de producción mina, mediante la minimización de los costos de perforación y voladura. La metodología empleada en el estudio de investigación fue analítico descriptivo, donde realizó la toma de datos de campo para su posterior análisis e



interpretación. Concluyó que, al determinar estos parámetros los costos de perforación y voladura se ha optimizado de 7,84 US\$/Tm a 7,54 US\$/Tm, con una diferencia de 0,30 US\$/Tm.

Cáceres (2017). “Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa”. Cuyo objetivo fue optimizar los costos de perforación y voladura, mediante el diseño de una nueva malla de perforación. La metodología desarrollada en la investigación fue descriptiva – aplicada. Concluye que, el costo de voladura se redujo de 342,32 US\$ a 247,61 US\$, logrando un ahorro de 94,71 US\$, el avance programado se incrementó de 75 metros hasta los 95 metros lineales.

Ynquilla (2017). “Diseño de mallas de perforación para la estandarización del frente de la galería de desarrollo nivel intermedio de la corporación minera Ananea S.A.”. Tuvo como objetivo, determinar el diseño de mallas adecuada, para estandarizar la malla de perforación en el frente de la galería. La metodología que se empleó en el trabajo de investigación fue descriptiva – analítico, ya realizó la toma de datos para posteriormente analizarlos. En dicho estudio concluye que, la malla anterior tenía 33 taladros cargados y 02 de alivio, en la nueva malla se emplean 31 taladros cargados y 02 de alivio, realizar la comparación se tiene una diferencia de 02 taladros cargados, para los 31 taladros se tiene una carga explosiva de 0,71 kg/disparo.

Ramos (2016). “Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la Mina Ana María mediante estandarización de perforación y voladura”. Tuvo como objetivo incrementar el avance lineal en galerías piloto, mediante la estandarización de las actividades de perforación y voladura. La metodología de investigación fue de tipo descriptivo – científico analítico, ya que hace uso del método estadístico y porque se describen los fenómenos y muestra. Concluyó que, se puede incrementar el avance lineal



de la galería piloto de 1,11 m/disp. Hasta 1,32 m/disp. Al estandarizar estos procesos logró ahorrar 40,20 US\$/m, antes de implementar su proyecto el costo por dicha operación era de 214,60 US\$/m.

Correa e Iparraguirre (2016). “reducción de costos operativos mediante la estandarización de malla de perforación - voladura, para labores horizontales: sección 4.0 m. x 4.0 m., mina socorro - Uchucchacua.”. Tuvieron como objetivo reducir los costos operativos, mediante la estandarización de la malla. La metodología fue de un tipo de investigación experimental – descriptivo, ya que se manipuló las variables para ver su efecto. Concluyen de qué, con la malla anterior el costo hubiera sido 340 927,2 US\$/año; y con la nueva malla de perforación el costo es de 290 260,8 US\$/año; logrando un ahorro de 50 666,4 US\$/año, también se incrementa el avance por metro lineal en 10%, en el caso de la voladura, el factor de carga anterior que era de 49,55 kg/m, para un avance fue de 2,92 m; y con el nuevo factor de carga que es de 37,04 kg/m el avance obtenido fue de 3,34 metros, logrando incrementar el avance lineal en 0.42 m.

Garrido (2015). “Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animón.”. Tuvo como objetivo de reducir el costo en la mina Animón, mediante la mejora y control de los estándares en perforación y voladura. La metodología del tipo de investigación fue de tipo analítico-descriptivo, ya que se tomó datos de campo para posteriormente analizarlos y describir su efecto. Logrando así, la reducción de los costos unitarios de mina en 4,19 US\$/Tm, que es el 18,5% del costo total de mina, este representa un ahorro de 3 771 000,0 US\$/año. Dentro de esto el sostenimiento representa el 58% del total, con una reducción de 2,35 US\$/Tm, seguido por la operación unitaria de perforación con 1,10 US\$/Tm, que es el 26,25% del total, la voladura con 0,42 US\$/Tm, que representa el 10% del total y también la limpieza y acarreo que es 0,32 US\$/Tm, que representa así 7,64% del total, de esta manera generó



un beneficio de 8,95% del Cash Cost de la Empresa Minera.

Tapia (2015). “Optimización de la Producción y Avance Mediante Diseño de Perforación y Voladura en Rampa 650 en la Empresa Especializada IESA S.A. CIA MINERA ARES S.A.C.”. Se plantea optimizar el avance y la producción, mediante el diseño de perforación y voladura. Utilizando la metodología descriptiva-aplicada, ya que realiza la toma de datos para posteriormente aplicarlo y ver su efecto en la reducción de costos. Concluye qué, con el nuevo diseño de malla el número de taladros perforados fue reducido a 41 taladros cargados y 03 taladros de alivio; lo que influye directamente en la reducción de la carga explosiva el cual se redujo de 186,56 kg a 120,7 kg, esto significa un gran ahorro en los costos de voladura, y se incrementa el avance lineal en 0,40 m.

Chipana (2015). “Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis - Corporación Minera Ananea S.A”. Tuvo como objetivo la reducción de costos en el frente de la galería progreso, mediante el rediseño de malla y la adecuada carga explosiva. La metodología de investigación fue de tipo descriptivo-aplicativo de causa y efecto, ya que, al manipular los datos y su posterior aplicación, se medirán sus efectos sobre los costos. En dicho estudio se concluye qué, los costos de perforación han sido reducidos de 98,48 US\$ a 87,25 US\$, todo esto al estandarizar el burden y espaciamento, y con el factor de carga explosiva adecuada los costos de voladura han sido reducidos de 196,46 US\$ a 148,49 US\$.

Mamani (2015). “Optimización de Costos de Perforación y Voladura en la Mina Maribel de Oro Ananea – Poquera”. Tuvo como objetivo optimizar los costos de perforación y voladura por medio del diseño de una nueva malla de perforación y la adecuada carga explosiva. La metodología fue de tipo experimental-descriptiva ya que se manipularon las variables para ver su efecto sobre los costos. Concluye qué, mediante el



rediseño de una malla de perforación y la adecuada carga explosiva, los costos se reducen de 323,9 US\$/m hasta 288,7 US\$/m, logrando un ahorro de 35,2 US\$/m.

Chahuares (2012). “Nuevo diseño de la malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo, Mina el Cofre”. Tuvo como objetivo diseñar una nueva malla perforación, para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo. La metodología fue del tipo de investigación experimental-descriptivo, ya que al diseñar y aplicar una nueva malla este tiene un efecto directo sobre la variable dependiente. En dicho estudio concluye que, con el nuevo diseño de malla de perforación solo son necesarios 36 de los 41 taladros, teniendo en cuenta que la profundidad de cada taladro que es de 1,45 m., la cantidad de explosivo disminuyó desde 12,41 Kg/m hasta 7,94 Kg/m y los costos en explosivos se redujeron de 39,92 US\$/m a 34,55 US\$/m.

Jáuregui (2011). “Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura”. Tuvo como objetivo reducir los costos operativos en mina, mediante la optimización de las operaciones unitarias de perforación y voladura. La metodología empleada en dicho es de tipo analítico-descriptivo, ya que analiza todas las operaciones unitarias de perforación y voladura para reducir los costos. En el estudio se concluye que, en la perforación la optimización fue de 0,37 US\$/Tm, el cual representa un ahorro en el costo unitario de perforación de 333 000 US\$/año; en la voladura la optimización fue de 0,28 US\$/Tm, que representa un ahorro de 252 000 US\$/año; de igual manera el ahorro en consumo de explosivos fue de 368 789 US\$/año; y la optimización con respecto al costo unitario total de mina fue de 1,51 US\$/Tm, lo que nos refiere a una optimización de costo del 7% al comparar con el costo anterior; esto significa un ahorro de 1 359 000 US\$/año.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Perforación y voladura

Si se quiere ocasionar la fragmentación de una maza rocosa son necesarios dos actividades primordiales las cuales son: la perforación (cuya finalidad es abrir huecos cilíndricos en la roca para almacenar explosivos). La voladura es el acto de agrietar y romper rocas, el suelo compacto o el hormigón, mediante el empleo de explosivos. La primera es valiéndose de un orificio cilíndrico, la mayor parte de estos trabajos se realizan con equipos hidráulicos, neumáticos, mecánicos y también térmicos, con la finalidad de abrir túneles, galerías o pozos, pueden ser actividades mineras u obras civiles, con un determinado tamaño, y en una forma específicamente buscada, este último busca separar y fragmentar la materia masiva, típicamente por medio de energía química e hidráulica (López, 2005).

Los sistemas más utilizados para la perforación en trabajos subterráneos, son clasificados por el ángulo de ataque mecánico que estos equipos pueden brindar, a partir del cual se hace la selección adecuada del equipo para determinada operación, también por el tipo de perforación que realiza el equipo, los cuales pueden basarse por la transmisión de la energía a la roca, usando como medio una barra de perforación, la energía transmitida se basa en dos tipos de acción, los cuales son la rotación y la percusión. Al combinar estos métodos se obtienen sistemas perforación roto-percutiva (Contreras, 2009).

2.2.2. Trazos de arranque

La base principal del término voladura en cualquier tipo de actividad que lo requiera reside en, la actividad de apertura de una cavidad preliminar, el cual es denominado como corte, cuele o arranque, cuyo objetivo es generar otra cara libre para que la siguiente rotura sea más fácil y eficiente, a manera de que los taladros

ubicados al centro y los del contorno puedan ejercer trabajo fracturando la roca en sentido hacia dicha cavidad y la cara libre inicial facilitando de esta manera la rotura de la roca. Al formarse una segunda cara libre, el frente se comporta como un “banco anular”, ya que los factores de cálculo se asemejarán a los de una voladura superficial; con la diferencia de que esta exigirá una carga considerablemente mayor para mover el material fracturado (EXSA, 2019).

- a) Serán necesarios una menor cantidad de taladros en el frontón; en la proximidad al techo.
- b) Será proporcionado un mejor desplazamiento centrado del material roto, pero el consumo de explosivos será mayor; en el piso.
- c) Esta área solo se considera conveniente cuando el material volado puede caer con facilidad por desplome.

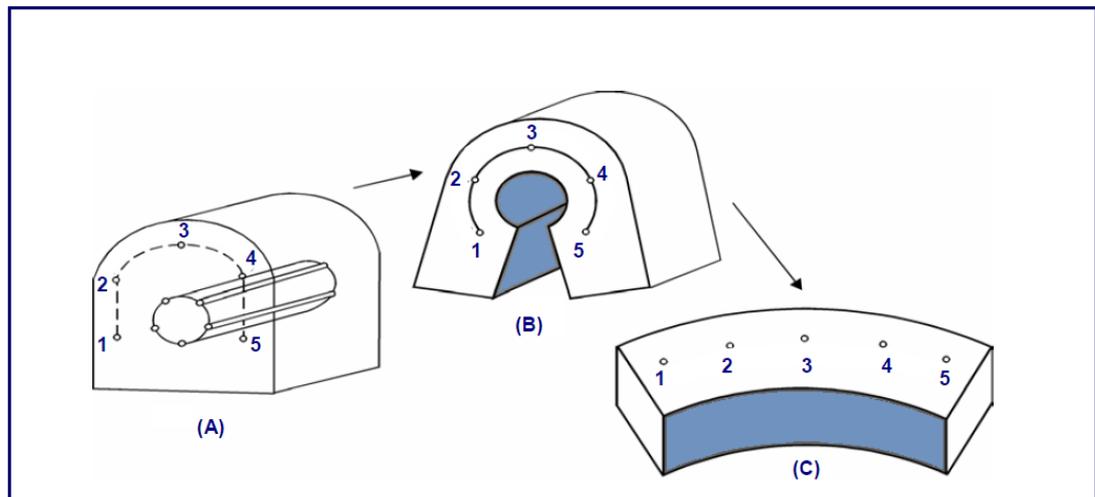


Figura 1. Cavidades formadas secuencialmente en un frente.

Fuente: manual de perforación y voladura (EXSA, 2019).

Las distintas maneras de corte responden a las maneras de ejecutar los disparos en una fase inicial y de esta manera originar, cavidad de corte, incluidos cortes de esquina o cortes diagonales y cortes de taladros paralelos (EXSA, 2019).

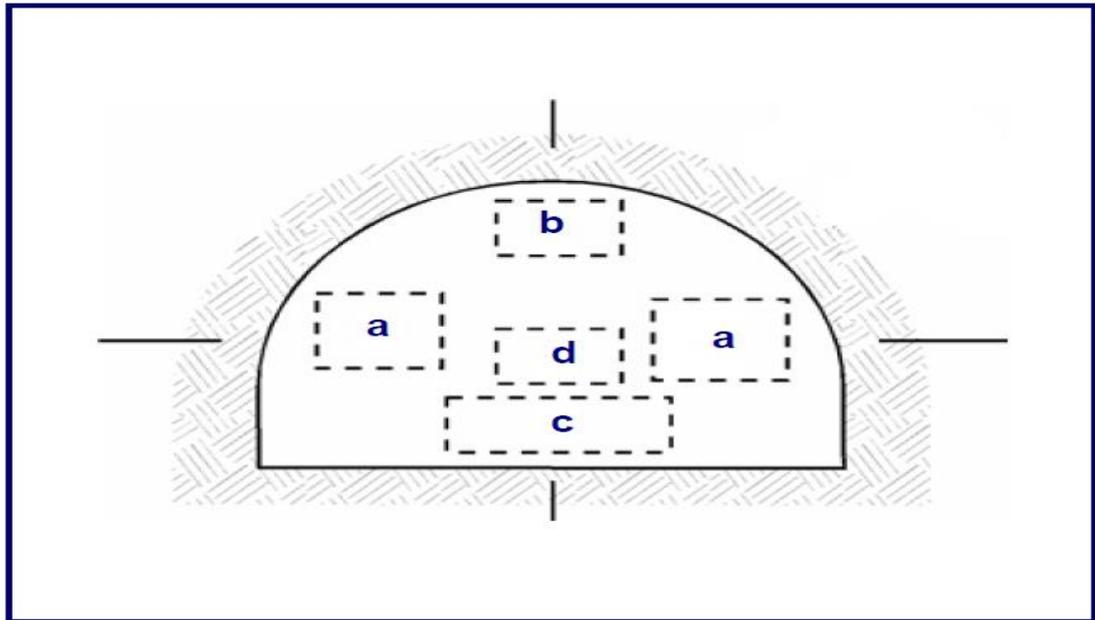


Figura 2. Ubicación del corte inicial (arranque).

Fuente: manual de perforación y voladura (EXSA, 2019).

2.2.2.1. Corte quemado (Burn cut)

Está conformado por una cantidad determinada de taladros con el mismo diámetro, los cuales son perforados contiguamente entre sí con una distribución de distintos trazos y figuras, de los cuales algunos no alojarán carga explosiva en su interior, de manera que el taladro sin carga actuará como cara libre para reflejar las ondas de choque generados por los taladros con carga, facilitando así la fractura de la roca (Cámac, 2012).

Según EXSA (2019) el trazo más simple del corte quemado es el de un rombo con cinco cavidades cilíndricas (*taladros*), cuatro de los cuales estarán vacíos en los vértices y solamente el taladro del centro estará cargado. Cuando se presentan ciertas condiciones de roca el esquema será invertido conteniendo así carga explosiva todos los taladros de los vértices menos el del centro del rombo. Usualmente también se presentan esquemas con seis, nueve o más taladros con una distribución cuadrática, donde la mitad de la cantidad total de taladros van cargados con explosivos y los otros se dejan

vacíos, distribuyéndose de diferentes maneras mayormente cuadráticos, triángulos y rómbicos.

Para este tipo de corte (*Burn cut*) el avance es limitado a un promedio de 2,5 m por cada disparo, siendo esta su desventaja haciendo que los cortes cilíndricos sean preferidos para una excavación de mayor profundidad (EXSA, 2019).

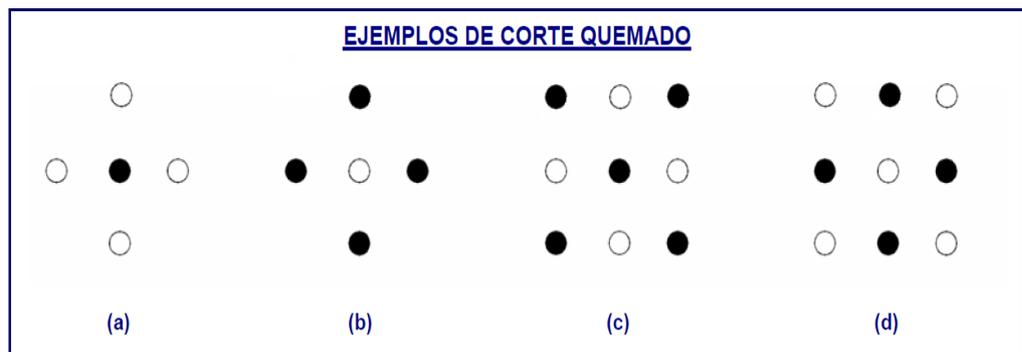


Figura 3. Corte Quemado.

Fuente: manual de perforación y voladura (EXSA, 2019).

2.2.2.2. Corte cilíndrico

Estos cortes tienen casi los mismos valores de distribución que el corte quemado, lo distinto prevalece, en que los diámetros de los taladros centrales (alivio) son mayores al resto de los taladros, lo que hace que sea más fácil crear cavidades cilíndricas. Generalmente este tipo de corte comparado con el corte quemado genera un mayor porcentaje de avance. Este tipo de trazo le da mayor importancia al burden (espacio entre taladro cargado al taladro vacío), empíricamente es, $B = 0,7 \times \text{diámetro del taladro vacío}$ (EXSA, 2019).

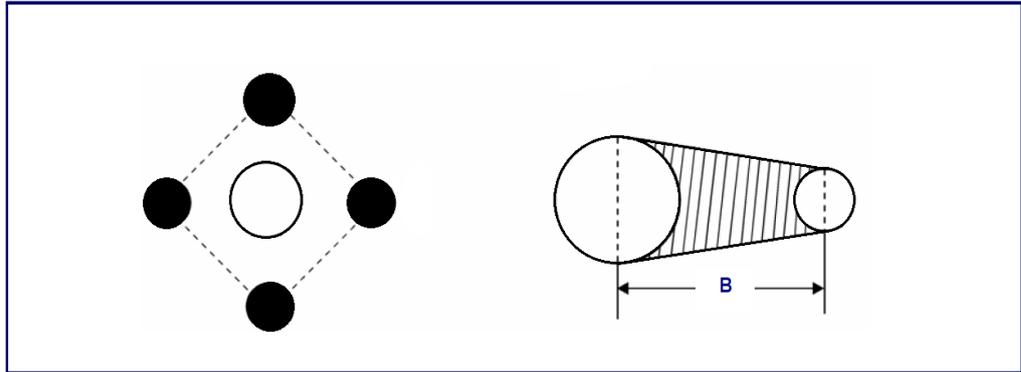


Figura 4. Corte Cilíndrico.

Fuente: manual de perforación y voladura (EXSA, 2019).

2.2.3. Denominación y distribución de los taladros

La distribución de los taladros será de configuración concéntrica, teniendo los taladros del arranque en el punto medio del frente de voladura, se tienen las siguientes denominaciones.

a) Arranques

Se denominan taladros de arranque a los taladros que están destinados a generar una cavidad inicial o segunda cara libre en el frente, por lo que estos se disparan primero. Para el arranque es requerido de 1,25 a 1,45 veces más carga en promedio por cada uno de los taladros, esto es debido a que en esta zona es necesaria una mayor energía para remover el material triturado, reduciendo correspondientemente la carga sobre los cuadradores y alzas que son las que menos carga requieren, debido a que tienen un efecto colapso (Cámac, 2012).

b) Ayudas

Se denominan ayudas a los taladros que se encuentran alrededor de los taladros de arranque y generan la remoción de material hacia el corte de origen de conformidad con las medidas de la galería de trabajo, también pueden variar en cantidad y distribución (Cámac, 2012).

c) Cuadradores

Se denominan cuadradores a los taladros que conforman los lados de la sección de la galería, también se les denomina como taladros laterales “*hastiales*” (EXSA, 2019).

d) Alzas

Se denominan así a los taladros que le dan su contorno al techo del túnel o galería. Igualmente, denominados como taladros de coronación, en recorte y voladura controlada “*smooth blasting*” son iniciados de manera inmediata en su conjunto los cuadradores y alzas para generar el plano de rotura de la sección de galería, son denominados generalmente como, “taladros periféricos” (EXSA, 2019).

e) Arrastres

Se denominan así a los taladros que están dispuestos en el suelo o parte inferior del túnel diseñado, son iniciados tras finalizar toda la ronda. Algunas veces son complementadas con taladros de perforación inclinada en las esquinas, cuya finalidad es formar una canaleta de drenaje (EXSA, 2019).

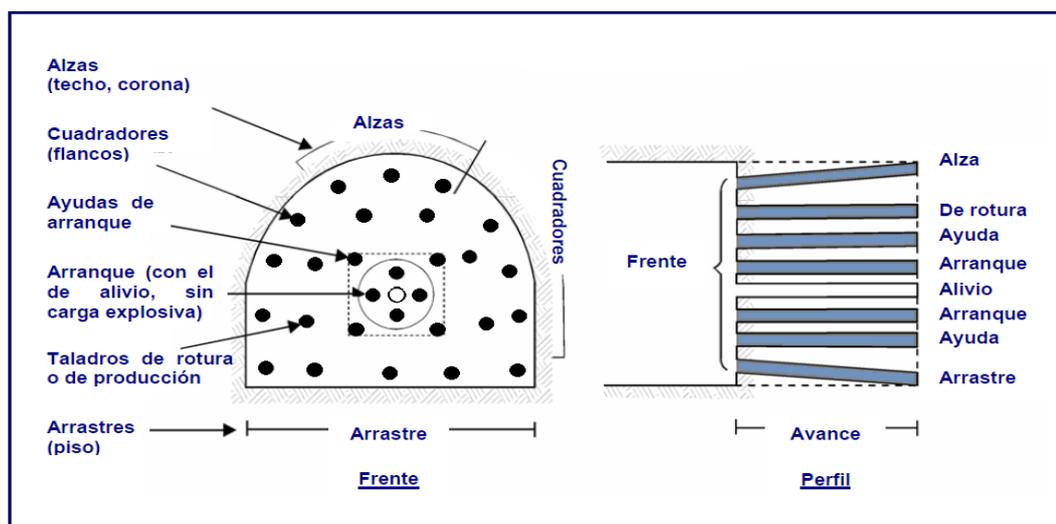


Figura 5. Designación de los taladros.

Fuente: manual de perforación y voladura (EXSA, 2019).



2.2.4. Perforadoras

Según Araucano y Mamani (2017) son equipos destinados para ejecutar taladros en la roca o mineral, los cuales más adelante serán volados por medio de la acción de los explosivos o también pueden permanecer intactos según el destino que se les asigne. Según su fuente de poder se clasifican de la siguiente manera:

- Manual
- Aire comprimido
- Eléctricos
- Hidráulicos

2.2.4.1. Perforación neumática.

Según Araucano y Mamani (2017) esta actividad es realizada mediante el empleo de una perforadora convencional; el cual usa para accionar todo el proceso de perforación el aire comprimido, puede realizar agujeros de pequeño diámetro con barrenos integrales o descartables.

2.2.4.2. Perforadora neumática Jackleg.

Araucano y Mamani (2017) lo describen como un tipo de perforadora cuya fuente de poder es el aire comprimido, es de uso manual con un pie de avance también denominado empujador. Esta perforadora puede ser utilizado para avances horizontales e inclinados, se emplea mayormente para la excavación de túneles, galerías y subniveles convencionales. En el mercado se presentan de diversas tipos y formas, pero lo que no varía es su fuente de poder en base al aire comprimido.



2.2.5. Aceros de perforación

2.2.5.1. Barra de perforación.

Según López (2005) se denominan barras de perforación a las varillas de acero los cuales tienen un eje hueco, estas barras cumplen la función de transmitir la energía roto-percutiva generado por el martillo neumático hacia el otro extremo que está en contacto con la superficie de la roca, las barras pueden ser redondas o hexagonales. Sus acoplamientos (unión) pueden ser de tipo rosca, cono liso, entre otros. Por otro lado, tenemos el conjunto de las barras integrales, los que se subdividen de acuerdo a la forma de su broca y a la distribución de sus insertos, estas barras integrales se encuentran secuenciadas, el diámetro del inserto varía conforme aumente o se reduzca el tamaño de la barra de perforación; entre los tipos de barras integrales tenemos:

- Barras integrales con insertos en forma de cincel: estos son los más comunes y prácticos, se distinguen por la facilidad en el afilado y bajo costo de adquisición.
- Barras integrales con insertos de tipo botón: son empleados en rocas de poca abrasividad y de fácil penetración.
- Barras integrales con insertos múltiples: son utilizadas en perforación mecanizada de rocas fisuradas y blandas.
- Barras descartables tipo cónico: este tipo de barras no tienen ningún tipo de inserto y son empleados conjuntamente con las brocas descartables.



2.2.5.2. Brocas de perforación.

Según López (2005) son herramientas que nos permiten realizar perforaciones en un determinado material o lugar, con fines que el que realiza la actividad lo decida, las brocas que son empleadas para la perforación roto-percutiva pueden ser de dos tipos:

- Broca de inserto tipo cincel.
- Broca de inserto tipo botón.

Para ambos tipos de broca las características de diseño compartidas, son las siguientes:

- La barra de perforación debe ser atornillada hasta la distancia límite adecuado, se hace esto con la finalidad de no perder la energía de impacto durante el proceso de perforación para que la energía sea transmitida lo más directo que se pueda sobre la roca a perforar.
- Ambos tienen un orificio en el centro y lateral los que están destinados para inyectar el fluido de barrido de los detritos y también tienen ranuras por las cuales son evacuados los fragmentos de roca producida por la perforación roto-percutiva.
- Las brocas son diseñadas teniendo una pequeña forma de cono, siendo la parte más extensa la de la broca el que se encuentra directamente con la roca, esto con la finalidad de afrontar la abrasión que sufriría la barra y prevenir el ajuste intenso de la pared y el barreno.



2.2.6. Tipos de explosivos

Los explosivos están compuestos por varias sustancias ya sean líquidas o sólidas, también pueden ser la combinación entre ambos elementos que, al aplicarse una incitación conveniente a una reducida cantidad de masa explosiva, esta se convierte rápidamente en una sustancia estable, prácticamente en su totalidad gaseoso, generando altas temperaturas y presión. Los explosivos se presentan de diversas maneras, todos ellos se componen específicamente con cualidades fisicoquímicas distintas, al momento de emplearlos se deberá hacer una adecuada selección de los mismos. El compuesto explosivo, obtiene su fuerza destructiva a partir de su acelerada transformación de la materia explosiva en energía con alta presión, temperatura y una gran variedad de gases, estos gases se encuentran confinados en espacios muy reducidos, motivo por el cual se ejerce una alta presión sobre sus contornos, estos tienden a expandirse con una rapidez casi instantánea, comportándose como ondas de choque que vencen a las rocas adyacentes (Cámac, 2012).

2.2.6.1. Explosivos químicos

Según Velásquez (2015) se le denomina explosivo químico a los componentes que provocan una reacción química muy rápida, y así generan energía y gases. Esta energía y gases generados bajo alta presión a su vez generan fuerzas de tensión sobre los contornos del taladro, provocando la fractura de la roca. Los componentes que forman el explosivo, mayormente están constituidos por elementos oxidantes y combustibles. El oxígeno presente en los explosivos es considerado un componente oxidante, en el caso del nitrógeno que se presenta de manera muy frecuente en un explosivo ya sea que se encuentre en forma sólida o líquida, después de que la reacción es causada conforma gases nitrosos. El explosivo también puede implicar



componentes adicionales, que no aportan nada a la energía generada. Estos materiales son agregados a los explosivos con el fin de reducir la sensibilidad o ampliar la zona de contacto.

Velásquez (2015) dice que algunas sustancias, como es el caso del carbonato cálcico y el óxido de zinc que trabajan como reductores de pH para aumentar el tiempo de vida útil al almacenar un explosivo. El elemento base que crea trabajo de manera directa en la voladura, son aquellos elementos que son capaces de generar gases por medio de una reacción, al igual que: carbón, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Cuando se crea una reacción del carbón con el oxígeno, puede formar dos tipos de compuestos bien sea, bióxido o monóxido de carbono. Para alcanzar una temperatura máxima al desencadenar la reacción, ansiamos que los componentes presentes sean oxidados en su totalidad, dicho de otra manera, debe generarse bióxido en vez de monóxido de carbono. Para de esta manera alcanzar la máxima eficiencia de la reacción explosiva, los componentes deben responder y conformar el subsiguiente efecto.

- La reacción del carbono produce bióxido de carbono.
- La reacción del hidrogeno produce agua.
- La reacción del nitrógeno en sus dos estados forma gases nitrosos.

Al ser combinados dos componentes, como por ejemplo el ANFO (nitrato de amonio y diésel). Y se presenta el caso que el diésel está en mayor proporción que el requerido, se dirá que el balance de oxígeno de la reacción explosiva es negativo. Lo que quiere decir que hay una deficiencia en la cantidad de oxígeno necesario para combinarse en su totalidad con el carbón y el hidrógeno, y también para conformar el resultado final deseado. Por otro lado, lo que sucede es que hay un remanente de carbono libre, por lo que se



liberará monóxido de carbono lo que ocasiona una pérdida en la eficiencia de la energía de la explosión. Al contrario, si se le agrega una escasa cantidad de combustible al nitrato de amonio, esta tendrá exceso de oxígeno, entonces no se generará una reacción contra el carbono e hidrógeno. Esta reacción química es denominada, reacción positiva debido a su balance de oxígeno favorable. Lo que realmente le sucede al nitrógeno, es que reaccionará conformando óxido nitroso, si este es formado, surgirá un gas de una coloración ocre y la energía será reducida. La eficiencia disminuye puesto que los elementos resultantes de la reacción conceptual desprenden energía al conformarse; además, los óxidos nitrosos absorben calor a medida que se van conformando. El agua y el dióxido de carbono presentan de manera negativa, lo cual da a entender que generan calor adicional a medida que se forman. Por otro lado, los óxidos nitrosos absorben calor a medida que se van conformando. Al final el resultado será una reacción a una temperatura muy baja. Si la temperatura de reacción es reducida, la presión del gas disminuye (Velásquez, 2015).

2.2.6.2. Explosivos industriales

Los conforma un par de extensos grupos, clasificados en base a la rapidez de sus ondas de choque, los cuales son:

a) Explosivos detonantes.

Estos explosivos se subdividen en principales y secundarios conforme a su uso; los principales son clasificados por su gran energía y sensibilidad, son utilizados como cebos que inician una detonación en la carga secundaria; y estas explosiones son las que cumplen la acción de fractura y remoción de la roca, aun cuando tienen una sensibilidad menor que los explosivos primarios realizan un mayor



trabajo productivo. Los explosivos primarios alcanzan velocidades de detonación promedio de alrededor de 4 000 m/s (Cámac, 2012).

b) Explosivos deflagrantes.

Estos están conformados por el grupo de la pólvoras, componentes pirotécnicos, propulsores y tormentaria, prácticamente sin ningún tipo de aplicación en la industria minera o la industria de la construcción; es conveniente recordar que el único compuesto utilizado en la minería es la pólvora negra el cual es utilizado para las mechas de seguridad. Este tipo de explosivos tienen velocidades de detonación que son inferiores a 2 000 m/s (Sanz *et al.*, 2009).

2.2.6.3. Propiedades fisicoquímicas de los explosivos

Todos los explosivos que podamos encontrar en el mercado tienen propiedades y características físicas únicas, relacionadas con el proceso de detonación, las cuales son las siguientes.

a) Velocidad de detonación (VoD).

Es la velocidad de reacción del explosivo, igual a la energía liberada durante la detonación o superior a la velocidad del sonido del material circundante, y es una de las constantes fundamentales que nos permite determinar la presión explosiva. La velocidad de detonación puede ser medido en diferentes unidades de medida (pies/s o m/s). La velocidad de detonación (*VoD*) de los explosivos comerciales confinados varían de un rango de 5 000 a 16 000 pies/segundo. Es recomendable utilizar explosivos de alta velocidad para romper rocas duras en pequeños fragmentos y de baja velocidad para romper rocas duras y suaves en grandes fragmentos (Cámac, 2012).



$$VoD = s + w$$

Donde :

VoD : velocidad de detonación

s : velocidad del sonido

w : velocidad de partículas (productos) (EXSA, 2019).

b) Densidad del explosivo.

Según Contreras (2009) la densidad del explosivo es una característica física fundamental a tener en cuenta al diseñar una voladura, el entendimiento del mismo es preciso para el calcular el número de taladros de cualquier dimensión con la óptima distribución y factor de carga. La densidad de una partícula se define como una magnitud escalar que se refiere a la porción de masa presente en un volumen determinado de dicha partícula sólido, el cual puede ser medido en gr/cc, la concentración de masa promedio de la mayor parte de los explosivos presentes en el mercado se encuentran dentro del rango de 0,80 gr/cc a 1,60 gr/cc. De manera común el explosivo suelto (*a granel*), como el Anfo, son de reducida densidad y se hallan entre los 0,80 gr/cc. hasta 1,15 gr/cc, el explosivo encartuchado por ejemplo el aquagel o dinamita, presentan mayor densidad que varían de 0,90 gr/cc hasta los 1,35 gr/cc. Conviene insistir que, al instante de realizar el carguío de los taladros para la voladura, la densidad del explosivo experimenta un incremento del 10% al 25% de la densidad inicial. Si el incremento es desmesurado la densidad podría causar que dicho explosivo no logre detonar, la densidad está definida por:

$$\rho = \frac{w}{v}$$



Donde :

ρ : densidad

w : masa

v : volumen

Tabla 1

Densidad del explosivo

Tipo de explosivo	Densidad	Tipo de roca
Semexsa 80	1,18 \pm 3%	Muy dura
Semexsa 65	1,12 \pm 3%	Dura
Semexsa 45	1,08 \pm 3%	Semi dura
Exadit 65	1,05 \pm 3%	Suave
Exadit 45	1,02 \pm 3%	Muy suave

Fuente: ficha técnica (EXSA, 2019).

c) **Presión de detonación (PoD).**

Es el empuje que nace en el área de reacción, en esta zona existirá un plano de equilibrio, al cual se le conoce como el plano de “*Chapman-Jouguet*” en el recorrido de la honda de detonación. Cuando el explosivo detona, la energía se libera instantáneamente como ondas de choque de corta duración ocasionando que el explosivo adquiera una característica llamada “*brisanca*”, el cual no es otro más que el resultado de tensión, corte o ruptura que es producido inmediatamente por el explosivo, en efecto a un elemento. La presión de detonación (*PoD*) está ligado a la densidad, también conocido como la rapidez de detonación de partícula de una determinada carga explosiva (EXSA, 2019).

$$PoD = (\rho e \times VoD \times W \times 10^{-6})$$



Donde :

PoD : presión de detonación del explosivo, en kbar

ρ_e : densidad del explosivo, en gr/cc

VoD : velocidad de detonación del explosivo, en m/s

W : velocidad de partícula (productos), en m/s

10^{-6} : factor de conversión

d) Resistencia del explosivo al agua.

Según Cámac (2012) se conoce como la destreza que tiene un explosivo de soportar una extensa exposición directa al agua sin viciar sus propiedades de detonación, esta característica es expresada en función del periodo de exposición (*horas*), que el explosivo tiene la posibilidad de estar en un entorno de alta presencia de agua y aun así mantener su potencia, velocidad, simpatía y pueda ser detonado. Estas características varían de acuerdo a los componentes que forman el explosivo, por lo común se presenta para las dinamitas y gelatinas ya que estas están directamente vinculadas a la mayor concentración de contenido de nitroglicerina. Por otro lado, dentro del conjunto conocido como agentes de voladura podemos señalar a las emulsiones y slurries. Prácticamente a todos los explosivos afecta negativamente la existencia de humedad o agua en los taladros ya que produce una inestabilidad química, y esto ocasiona que pierdan su sensibilidad, así como entorpecen el ascenso de la temperatura. Por otra parte, el agua suministra H_2 y O añadido, consiguientemente, será necesaria una temperatura mayor para que el agua sea vaporizada.

Tabla 2

Categorías de resistencia al agua.

Tipo de explosivo	Densidad	Resistencia al agua
Semexsa 80	1,18 ±3%	Excelente
Semexsa 65	1,12 ±3%	Muy buena
Semexsa 45	1,08 ±3%	Buena
Exadit 65	1,05 ±3%	Mala
Exadit 45	1,02 ±3%	Muy mala

Fuente: ficha técnica (EXSA, 2019).

e) Sensibilidad del explosivo.

Cámac (2012) considera así a la particularidad que posee cualquier tipo de explosivo para difundir una reacción a través de toda la extensión de carga, esta se puede medir al disponer del diámetro crítico de un explosivo. Todas las mezclas explosivas poseen diámetro crítico, esta alcanza a variar de acuerdo a las características fisicoquímicas de los mismos usualmente varia de 1 a 100 mm. Por otra parte, la sensibilidad del explosivo depende de la composición, del tamaño de las partículas de los ingredientes, del tratamiento recibido, de su densidad, de los efectos de la humedad y temperatura. La sensibilidad engloba varios significados, dependiendo del tipo de acción exterior que pueden ser acciones controladas mediante un detonador o acciones no controladas como pueden ser detonados por calor, fricción, impacto o choque.

f) Emanación de gases del explosivo.

Estos gases provenientes del estallido del explosivo y los agentes de voladura, en su mayoría no presentan un riesgo de intoxicación, estos son el bióxido de carbono, vapor de agua y el nitrógeno; pero también, dentro de ellos son generados, en una cantidad pequeña, gases con un gran potencial



toxico dentro de ellos se encuentran el óxido de nitrógeno y monóxido de carbono. Al presentarse estos gases tóxicos en una reacción explosiva, esta representa una de las restricciones más importantes en al utilizarlos en la minería subterránea, ya que este puede emplear un gran potencial de avenamiento por gases tóxicos para el personal que trabaja en ellas (Cámac, 2012).

g) Inflamabilidad del explosivo.

Es referente a la gran sencillez con que un determinado explosivo podría ser iniciado por chispa, flama, fuego o calor. Comportándose como una característica de mucha importancia a tener en cuenta para su almacenamiento, transporte y uso final que se le dé. Los explosivos basados en agua poseen una posibilidad de detonación relativamente reducida comparado con la dinamita sometida a fuego directo, es preciso recalcar, esto solo como un margen de seguridad mas no se deben permitir procedimientos inseguros. Los explosivos en general son altamente inflamables y peligrosos. Los explosivos que se comercializan son perjudicados en sus funcionalidades si son almacenados bajo excesivas temperaturas por encima de 32 °C (*grados Celsius*), la mayoría de los compuestos explosivos sufren una descomposición lenta o alteran sus cualidades fisicoquímicas y su vida útil se reduce drásticamente (Cámac, 2012).

h) Estabilidad química del explosivo.

Es referido a la característica de un explosivo de mantenerse químicamente intacto. Generalmente, los explosivos industriales tienen una gran estabilidad química, pudiendo estos ser almacenados, bajo condiciones ambientales favorables, durante prolongados periodos de tiempo y aun así



mantener sus características iniciales. Las características establecidas en cada tipo de explosivo comercial, determinara su tiempo de almacenamiento máximo, estos datos serán utilizados por los usuarios como guías de rotación para los inventarios (Cámac, 2012).

i) Humos generados por el explosivo.

La mayoría de los explosivos que existen están dispuestos para poseer un balance de humos adecuado cuya función es optimizar la energía producida, reducir la presencia de gases tóxicos, no se puede evitar que los gases nocivos se generen, estos gases están acompañados de un cierto contenido en humos nitrosos (NO , NO_2), es necesario, indicar que el problema no es particularmente del mismo explosivo, más bien es un problema de deficiencia en la ventilación. La presencia de materiales plásticos, inadecuada carga e iniciación dan lugar al aumento en el volumen de los humos (López, 2005).

j) Factor de seguridad del explosivo.

Desde una perspectiva operativa, es necesario ver la seguridad de la explosión de una carga explosiva. Un punto de equilibrio difícil de conseguir en un explosivo es la relación sensibilidad-seguridad. Existen explosivos con de alta sensibilidad como las gelatinas, que, si por algún motivo este material queda en el fondo de los taladros, se corre riesgo de estallido al momento de emplear maquinarias y equipos de limpieza en la zona produciéndose así un peligro latente para el personal que labora en la zona (López, 2005).

2.2.7. Como se origina la voladura

López (2005) interpreta que, conforme a los puntos de vista de la mecánica de rotura de rocas, la voladura se produce en un espacio tridimensional, gracias a



las presiones originados por los explosivos que se encuentran confinados en los taladros, al originar un lugar de elevada concentración de energía, esta da lugar a un par consecuencias dinámicas, los cuales son el quiebre y movimiento. Estas terminologías se refieren a la fractura y la alteración de la masa rocosa triturada. En minería subterránea un buen fracturamiento es sinónimo de buena voladura ya que este es de fácil remoción y transporte, también va relacionado con el destino final que se le dará al material volado. Tomando en cuenta las diferentes perspectivas que son involucrados en un trabajo de voladura, con la finalidad a excavar u obtener el volumen excavado, teniendo en cuenta el grado de fragmentación in situ, también, teniendo en cuenta las dimensiones de los equipos de acarreo y limpieza, y las proyecciones de las rocas voladas por si existen zonas de instalaciones importantes. Existen una cadena de variables los que actúan directa o indirectamente en las operaciones de voladura, son recíprocamente afectos o que están en relación, algunos son controlables y otros no, como las variables de diseño de perforación o la elección de los explosivos utilizados, mientras que las características geológicas o de la roca no se pueden cambiar.

a) Accesorios de voladura

- **Fulminante común:** el fulminante está integrado por una cápsula cilíndrica compuesta de aluminio el cual está cerrada en uno de sus extremos, en su interior aloja un explosivo primario con alta sensibilidad a la chispa de una mecha de seguridad y un explosivo secundario de alta capacidad. La mezcla de ignición se encuentra expuesto al otro extremo abierto de la tapa, la imprimación de fulmito no debe ser alterada o abusada de ninguna manera; ya que esto puede hacer que la imprimación explote prematuramente y provoque un accidente. Dada la calidad de los insumos utilizados para producirlos, estos



proporcionan la máxima seguridad y eficiencia cuando son utilizados, existen fulminantes con denominación numérica de 6 y 8 estos números denotan la cantidad de fulminato contenido en cada uno de ellos respectivamente (FAMESA, 2019).

- **Mecha de seguridad:** según FAMESA (2019) la mecha de seguridad se considera un accesorio de voladura y es un elemento de un método de cebado tradicional. Se distingue por su flexibilidad y tiene un núcleo central de pólvora, que transfiere la llama al cebo, a una rapidez homogénea; Está recubierto por diversas capas de diferentes materiales que aseguran la continuidad de la combustión y la compactación. Estos componentes están protegidos por un revestimiento de plástico. El conjunto garantiza a la mecha de seguridad una excelente impermeabilización, resistencia a la humedad, a la abrasión y al estrés mecánico, incluso en las condiciones más exigentes; así como evitar la transmisión de fuego de una parte a otra de la mecha de seguridad cuando están muy juntas, minimizando la generación de chispas en su interior.
- **Carmex:** es un sistema de iniciación ensamblado y listo para su uso se compone de un fulminante común N° 8, tiene un tramo de mecha de seguridad, como también un conector para mecha rápida en uno de sus extremos que está hecho de un material plástico, el cual cumple la función de asegurar la mecha rápida al conector (FAMESA, 2019).
 - Una vez armados los cebos (Carmex más dinamita) deberán ser colocados al interior de los taladros.
 - Posteriormente se procede con el amarre de toda la tanda de voladura de acuerdo a una secuencia de salida ya predefinida, todas las mechas que se asoman de los taladros deberán ser conectados a la mecha rápida haciendo



un ejemplo de telaraña, tomando en cuenta que los taladros de arranque serán los primeros en la secuencia de salida y los taladros de arrastre serán los últimos.

- La persona que ha de iniciar la chispa, tiene que estar atento a cualquier eventualidad que se suscite en el frente de chispeo, para el chispeo se deja un pequeño tramo de mecha rápida.
- El recorrido de las chispas al iniciar toda la ronda de taladros cargados debe ser tal que, la chispa de la mecha de seguridad debe estar dentro de la boca del taladro, antes de que detone la primera ronda, se hace esto para evitar los tiros cortados, a raíz del deterioro de la mecha de seguridad por rocas volantes.
- Es imprescindible que la chispa del último taladro esté dentro del mismo cuando explote la primera carga para eludir que alguna fracción de roca pueda cortar la línea de combustión.
- **Mecha rápida:** según FAMESA (2019) es considerado un sistema de iniciación tradicional de voladuras, se compone de una masa pirotécnica, dos alambres más una cobertura de plastificada. Lo que la mecha rápida hace durante su combustión es producir una llama incandescente teniendo una temperatura lo suficientemente alta como para que active la masa pirotécnica del conector de la mecha rápida, que a su vez asegura el encendido de la mecha de seguridad.
- **Conector para mecha rápida:** según FAMESA (2019) este conector es una capsula de aluminio en cuyo interior contiene una carga pirotécnica, también tiene una abertura paralela a la base, el cual está marcada de un color rojo para poder diferenciarlo del fulminante común. Es considerado como un



complemento de la mecha rápida cuya finalidad es iniciar la mecha de seguridad garantizando una conexión eficiente y segura hasta en condiciones de humedad.

2.2.8. Mecánica de rotura de rocas

2.2.8.1. Proceso de fracturamiento.

Según EXSA (2019) el proceso de fracturamiento de la roca por la voladura abarca a la detonación del explosivo y la reacción de masa rocosa en sus alrededores, implicando un factor como es la duración, expansión de la energía térmica, ondas de choque y de tensión también se considera de suma importancia la presión mecánica de las rocas, entre otros, es un mecanismo de interacción rápida y compleja, existen diversas teorías que tratan de explicar este suceso los cuales son:

- La rotura por hondas de tensión que retornan a partir de la cara libre.
- La expansión, generados a partir del proceso de detonación.
- La flexura o teoría de expansión gases.
- La teoría de corte por cizallamiento o ruptura por torque.
- Las anergias de tensión y compresión generado por el frente.
- La liberación repentina de cargas.
- Nucleación en fracturas, fallas y discontinuidades.

Y también están basados en la perspectiva de distribución de fuerza, compresiva, tensiva y de reflexión de ondas de choque en una cara libre, las pruebas hechas en laboratorios a lo largo de los años demuestran que la fractura de roca se produce por efectos de colisión de fragmentos, por movimientos de corte y cizallamiento, por torsión, presión de los gases

generados súbitamente, lo que libera carga y genera la rotura del material rígido por flexión.

Estas teorías son comprobables solamente en ciertas condiciones de trabajo por lo que son consideradas no concluyentes. Otra explicación ampliamente aceptada es, que todos estos procesos ocurren en una secuencia casi simultáneamente una detrás de otra, por lo que es casi imposible percibirlo, teóricamente estas etapas pueden ser:

- La detonación genera ondas de choque.
- Transmisión de la onda de choque al macizo rocoso, el cual produce su agrietamiento.
- La expansión de los gases a altas temperaturas y presión.
- La conformación de la pila de roca triturada, ocasionada por el desplazamiento del mismo.

2.2.8.2. Descripción del proceso.

Posterior a la detonación, los gases y la onda de choque generan cambios físicos en las paredes del taladro, este comportamiento es transferido inmediatamente a la roca a su alrededor, viajando a través de ella como una fuerza compresiva, causándole una deformación elástica, puesto que las rocas son resistentes a las fuerzas compresivas. Una vez estas ondas lleguen a la cara libre generan ondas de tensión. Si la resistencia tensional de la roca es excedida, la masa rocosa tiende a romperse en el área de menor resistencia en todo caso el burden, las ondas reflejadas en la cara libre retornan al punto de partida generando en ese trayecto fracturas y agrietamiento. En este punto se origina la mayor fragmentación debido al impacto entre los fragmentos de roca transportados por el aire. La respuesta del explosivo en el taladro es muy



rápida, y su efecto se considera completo cuando la masa ha llegado a 10 veces el volumen, lo que tarda unos 5 a 10 milisegundos. En general, la fragmentación es más eficaz en rocas sólidas y homogéneas que en rocas naturalmente muy fracturadas, porque estas últimas tenderán a escaparse por las fisuras, reduciéndose su energía útil. La explosión teóricamente tiene un efecto de expansión esférica, pero como los explosivos suelen cargarse en huecos u orificios cilíndricos, la explosión tiene una expansión cilíndrica, como consecuencia de la expansión del taladro perforado en medios duros, es un proceso de craqueo radial, lo que resulta en la formación de planos de falla longitudinales consistentes con el eje del agujero (Cámac, 2012).

Según Cebrián *et al.* (2019) para la rotura de la roca se requieren condiciones fundamentales como:

- **Confinamiento:** conseguir el mejor acoplamiento con la pared interior permite que la onda de choque se transfiera con mayor eficiencia a la roca.
- **Cara libre:** en voladuras subterránea es indispensable contar con por lo menos una cara libre, porque esta permite que se reflejen las ondas de choque que fragmentan la roca, sin la existencia de una cara libre las ondas se disiparan a lo largo de la masa rocosa sin tener ningún efecto provechoso sobre ella.
- **Burden:** es denominado como una zona de menor resistencia. Este deberá ser el más conveniente para cada diámetro de taladro. En el caso de ser demasiado extenso la reflexión de ondas de choque serán mínimas, e incluso pueden llegar a ser nulas y la fragmentación de la roca será limitada al collar del taladro. Si se



presenta una condición adecuada, la presión de los gases sobre el macizo rocoso en proceso de fragmentación conllevará además a la rotura horizontal, partiendo de la cara libre, en consecuencia, las fuerzas de tensión originados siempre en cuando la roca alcance el límite de deformación elástica y la deformación convexa de la cara libre se fracturarán, donde se conforman las aberturas de plegamiento, de las cuales nacen los planos de fractura horizontales. Este proceso es denominado rotura flexural.

2.2.8.3. Evaluaciones de la voladura.

De acuerdo a EXSA (2019) una voladura puede ser evaluada por diferentes factores entre las más importantes tenemos, grado de fragmentación de la roca, volumen removido, grado de deslizamiento obtenido, avance obtenido, la sobre rotura y el costo por disparo.

- El volumen total de material removido debe aproximarse a la masa teórica calculada, tomando en consideración el factor de esponjamiento
- El avance en los frentes subterráneos por voladura deberá ser tanto como la profundidad de los taladros disparados, y delimitada en los contornos por el diseño de malla de perforación, si resulta menor requerirá ser ensanchada por lo que esto acarreará un coste adicional, lo mismo ocurre en los casos donde se presenta la sobrerotura.
- El nivel del piso debe ser la misma que la proyección del piso anterior si resultan lomadas o zonas sobre salientes estas requerirán mayor carga en el piso.



- En todo trabajo subterráneo es imprescindible mantener la gradiente ya sea positiva o negativa para la evacuación del agua.
- El grado de fragmentación del material volado, dependerá del destino final que este posea ya que sin un material es excesivamente pequeño o en su defecto de tamaño mayor este podría ocasionar inconvenientes.
- Por ejemplo, si se presentan bolones, esta requerirá una voladura secundaria o en el mejor de los casos un mayor trabajo en el chancado.
- En estructuras subterráneas o túneles, debilita y resquebraja la roca sobrante en todos sus contornos, afectando el interior, haciendo alcanzar un riesgo de colapso de techos o paredes. Además de las características geológicas inciertas, la debilidad de la estructura y el alto grado de fracturamiento,
- El desplazamiento y cumulo del material fracturado deberá ser el más convenientes de modo que favorezca las actividades de acarreo y transporte. El cumulo proyectado depende del tipo de equipo que se utilizará para limpiar el metraje.
- La dispersión de escombros a largas distancias, además de aumentar el riesgo de “*flyrock*”, también tiene la desventaja de incrementar la dilución de materiales económicamente valiosos mezclándolos con los desechos, a medida que se descomponen y se separan del frente de disparo. Por lo general, indica carga explosiva excesiva en el cuello de perforación o inadecuada cantidad de taco.



- En la voladura, el costo sirve para determinar el valor monetario total de una voladura, aquí también se incluyen los costos de perforación (aire comprimido, aceros de perforación, brocas, grasas, aceites, depreciaciones, etc.), el costo de los explosivos, accesorios todos ellos pueden ser expresados en US\$/m.

2.2.9. Cálculos para la voladura

2.2.9.1. Número de taladros a perforar.

EXSA (2019) dice que la cantidad de taladros que son requeridos por una voladura subterránea dependerá de las características de la matriz rocosa en el que se desea hacer la excavación, del grado de fragmentación, del grado de confinamiento y del diámetro de las brocas de perforación, estas características de manera individual son capaces de hacer que se amplíe o reduzca la malla de perforación y por ende incrementar o reducir la cantidad total de taladros calculados en base a la teoría, por consiguiente, se da la siguiente ecuación.

$$N^{\circ} \text{ Tls} = \frac{P}{dt} + S \times Ks$$

$$P = 4\sqrt{S}$$

$$S = a \times h$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ Tls}$ = número de taladros

P = contorno o perímetro de la galería

dt = constante (coeficiente de tipo de roca)

Ks = constante (coeficiente de tipo de roca)

El área o sección de la galería se da por la siguiente ecuación:

$$S = a \times h$$

Donde:

S = área o sección de la galería

a = ancho de la galería

h = altura de la galería

Tabla 3

Factor o coeficiente del tipo de roca.

Tipo de roca	dt	Ks
Roca blanda	0,70	1,0
Roca semidura	0,60	1,5
Roca dura	0,50	2,0

Fuente: manual práctico de voladura (EXSA, 2019).

2.2.9.2. Velocidad de perforación.

Según Cámac (2012) se define como la velocidad a la cual la barra de perforación puede profundizar un pozo, esta velocidad también se puede definir en m/minutos.

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{\text{Longitud de taladro}}{\text{Tiempo efectivo del taladro}}$$

Donde:

Longitud del taladro expresado en metros (m).

Tiempo efectivo del taladro en minutos.

2.2.9.3. Eficiencia de disparo o avance por disparo.

Según López (2005) la profundidad de avance lineal se encuentra limitada en base al diámetro del taladro sin cargar y la desviación. La desviación del taladro debe permanecer por debajo del 2%, una vez que se cumpla con esto el avance debería estar cerca del 95% de la dimensión total del taladro (L).



$$I = 0,95 * L$$

Donde:

I = progreso estimado por voladura (m).

L = profundidad del taladro perforado (m).

La profundidad de los agujeros se puede estimar usando la siguiente expresión:

$$L = 0,15 + 34,1 * D_1 - 39,4 * D_1^2$$

Donde:

L = Profundidad del taladro perforado (m).

D_1 = Diámetro del taladro de alivio (m), se debe cumplir $0,05 \leq D_1 \leq 0,25$ m.

Si en una excavación se utilizan varios taladros de alivio la ecuación expresada será:

$$D_2 = D_1 * \sqrt{n}$$

Donde:

D_1 = diámetro de taladro de alivio (m).

n = total de taladros de alivio.

D_2 = diámetro equivalente del taladro alivio (m).

2.2.9.4. Eficiencia de perforación o eficiencia de voladura.

Según Cámac (2012) la eficiencia de la voladura esta dado por el cociente entre el avance efectivo y la longitud del taladro multiplicado por cien para tener el porcentaje.

$$\text{Eficiencia de perforación} = \frac{\text{Avance efectivo}}{\text{Longitud del taladro}} \times 100$$



Donde:

Avance efectivo expresado en metros (m).

Longitud del taladro expresado en metros (m)

2.2.9.5. Número de cartuchos por taladro.

Según EXSA (2019) el número de cartuchos se da por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Número de cartuchos} = \frac{\frac{2}{3} * L}{Le * 0,8}$$

Donde:

Total, de cartuchos/taladro = número de cartuchos/taladro

Le = longitud del explosivo o cartucho (m)

L = longitud de taladro perforado

0,80 = 80 % longitud de carga

2.2.9.6. Volumen fracturado o total.

Según EXSA (2019) el volumen total fracturado está dado por la ecuación matemática siguiente:

$$V = a * h * I$$

Donde:

V = volumen total (m^3).

a = ancho de la sección de la galería (m).

h = altura de la galería (m).

I = profundidad de la perforación (m).



2.2.9.7. Factor de esponjamiento.

Según Cámac (2012) el factor de esponjamiento es el incremento del volumen a causa de la fractura de una masa de roca, este incremento es debido a la reducción de su peso específico ya que este fue extraído de su volumen natural (volumen in situ) para ser depositado en otro espacio o simplemente removido (volumen no confinado). Puede ser expresado como una fracción decimal o un porcentaje.

$$F_w = \frac{F_B}{F_L}$$

Donde:

F_w = factor de esponjamiento.

V_B = volumen que ocupa el material en el frente (m^3).

V_L = volumen total que ocupa el material suelto o roto (m^3).

2.2.9.8. Tonelaje fracturado.

Si el volumen hallado desea expresarlo en toneladas, el volumen deberá ser multiplicado por la densidad promedio del mineral o roca.

$$Tm = V * \rho$$

Donde:

V = volumen total (m^3).

ρ = densidad promedio de la roca (kg/m^3).

2.2.9.9. Cantidad de carga explosiva.

López (2005) indica que la cantidad de carga explosiva está sujeto a la resistencia de la roca y del tamaño de la cara de tiro, que se basa en: la cantidad, profundidad y diámetro de los agujeros y también está ligado a las



características de los explosivos a emplearse como también con los iniciadores a utilizar. Cabe señalar que la cantidad de explosivos por metro cuadrado se reduce aún más debido a la gran sección transversal del túnel este valor incrementa entre mayor sea la dureza de la roca a volar. En la actividad minera, el consumo de explosivos suele oscilar entre 350 y 840 g/m^2 .

$$Qt = V * kg/m^3$$

Donde:

V = volumen de carga estimado, en m^3

kg/m^3 = carga por m^3

2.2.9.10. Factor de carga explosiva.

Según Cámac (2012) el factor de carga es la cantidad de explosivo necesario para romper un metro cubico de roca (m^3), este es un indicador muy importante en el patrón de diseño de voladuras, también es usado como indicador de eficiencia de voladuras a partir de esto se da lo siguiente:

$$Fce = \frac{Kg - explosivo}{Volumen roto}$$

Donde:

Cantidad de explosivo expresado en kilogramos (kg).

Volumen de material roto expresado en metros cúbicos (m^3).

2.2.9.11. Factor de potencia del explosivo.

Cámac (2012) indica que el factor de potencia es la relación entre la cantidad de explosivo con respecto al tonelaje roto.



$$F_p = \frac{Kg - explosivo}{Tonelaje\ roto}$$

Donde:

Cantidad de explosivo expresado en kilogramos (kg).

Toneladas métricas de material roto (Tm).

2.2.9.12. Distancia entre los taladros.

Está determinado por la cantidad de taladros y la superficie del frente. Suele variar de 10 a 30 cm entre taladros de arranque, de 55 a 85 cm aproximadamente entre los taladros de apoyo, de 40 a 65 cm entre los cuadradores y de 20 a 30 cm de la pared para los taladros periféricos. Se tiene como una regla empírica una distancia estimada de dos pies por cada pulgada de diámetro de taladro (Cámac, 2012).

2.2.9.13. Longitud de los taladros.

Según Cámac (2012) será determinado en base al espacio utilizable de la sección de la galería, según el procedimiento de arranque elegido y también de acuerdo a las dimensiones de los equipos de perforación. Para el corte quemado se puede permitir perforaciones de 2 a 3 metros, mientras tanto que con el corte cuña (V) solo solo funciona en taladros de 1 a 2 m este método de corte en su mayoría es utilizado en excavaciones de pequeña sección, si queremos determinar la dimensión de los taladros para el corte en tipo cuña (V), se puede utilizar lo siguiente:

$$L = S * 0,5$$

Donde:

S = es el área de la sección del túnel expresado en m^2



2.2.10. Costos y gastos

2.2.10.1. Costo.

Decimos costo al desembolso económico que realizamos para así obtener un producto o un servicio que posterior a esto nos brinde beneficios. Por ejemplo: la adquisición de materias, fabricar un artículo, ponerlo a la venta, ofrecer un servicio, extraer minerales de las reservas, etc. Si no se logra el beneficio planeado, podemos decir que tuvimos una pérdida. Los costos forman la base para fijar precio de un determinado elemento, para valorar el trabajo y la toma de decisiones de gestión. También es definido como el valor de sacrificio para obtener un bien o servicio. Al momento de la adquisición, se incurre en costos (Durant, 2017).

2.2.10.2. Gasto.

El gasto es definido como un costo que genera una ganancia y está vencido. El gasto representa el monto total, en recursos monetarios, físicos, humanos y financieros gastados en cualquier período, para todas las operaciones mineras. El gasto tiene una amplia interpretación, que incluye, también los recursos que son empleados en un ciclo de producción, los gastos que tienen relación con el aumento encaminado de la productividad, los costos aplicables al costo del período futuro (costos a futuro), los costos relacionados con la producción se compensan. Por financiamiento especial y los costos de actividades no productivas (Durant, 2017).

2.2.10.3. Determinación de los costos.

Una identificación y comprensión completa de los costos de una empresa es de vital importancia, las funciones y la finalidad de los costos son los siguientes:



- Te da control sobre las deficiencias operacionales.
- Permite la valoración de los inventarios.
- Influye en la facilidad de toma de decisiones.
- Mejora la gestión y control gerencial de la empresa.

2.2.10.4. Grado de variación de los costos.

Se considera importante esta clasificación por que permite hacer estudios de planificación para controlar las operaciones. Se refiere a la variabilidad del costo, teniendo en cuenta los diferentes grados de la producción.

2.2.10.5. ¿Qué es un costo fijo?

Estos costos son lo que permanecen constantes dentro de un periodo relevante de producción, ya que el costo fijo por unidad varía de acuerdo a la producción. Dándole un sentido diferente, es aquel pago hecho independientemente de la cantidad de producción, este se refiere a la cantidad contada que es producido un determinado artículo, entonces esto quiere decir que si la productividad baja o sube estos costos siguen siendo iguales. Se puede decir que a estos costos no les afecta las alzas o bajas en la producción. Los costos fijos solo se pueden aplicar en cortos periodos de tiempo, esto es debido a que la empresa no puede alterar la producción. Son aquellos costos de los cuales su valor permanece constante. También son llamados costos para "mantener la empresa abierta", de tal forma que estos produzcan, se pueda vender o no el artículo producido, estos costos son solventados de igual manera. Entre ellos tenemos: servicios de ventilación, vigilancia, requerimiento de servicio administrativo, operaciones mina, depreciación y amortización (Durant, 2017).



2.2.10.6. ¿Qué es un costo variable?

Así, se consideran todos los costos organizacionales, mejor conocidos como costos operativos, y son variables o directos, a veces proporcionales al volumen de ventas o producción. En otras palabras, los costos variables son aquellos que están directamente relacionados con una actividad específica o una cantidad específica de producción que se puede llamar producción o ventas; Por ejemplo, las materias primas aumentan según el volumen de producción y la comisión por ventas, más los consumibles, la mano de obra directa, los incentivos, los suministros, la depreciación, la comisión por ventas, etc. Podemos definirlo como cambios en el costo total que son proporcionales al cambio en la cantidad o la productividad adentro de ese rango, mientras el precio por unidad se mantiene igual. Donde contamos con: mano de obra, repuestos, combustibles y lubricantes, aceites, materias primas e insumos directamente relacionados (Durant, 2017).

2.2.11. El costo según su asignación

2.2.11.1. Costo directo.

Según Iriarte (2012) es aquel que puede medirse y asignarse a de forma concreta a un producto, está relacionado en función a su relación con el producto, son costos que pueden ser imputados de manera muy clara a un producto para conocer su costo unitario no se necesita establecer ningún tipo de criterio de imputación ya que su reparto económico es obvio.

2.2.11.2. Costo indirecto.

Iriarte (2012) manifiesta que se considera costo indirecto a aquel costo que afecta el proceso productivo de un producto en particular o varios



productos, que produce una empresa y que no se puede medir ni asignar a un producto en específico tampoco se sabe en qué punto específico afecta al proceso de producción.

2.3. DEFINICIÓN DE LOS TERMINOS CONCEPTUALES

Malla de perforación: se denomina así a la distribución de los taladros en un frente de trabajo, teniendo en cuenta esencialmente la relación de la carga a su distancia y su dirección a la profundidad del taladro.

Perforación: para realizar voladuras es necesario el confinamiento adecuado de los explosivos, para ello se requiere perforar en la masa de roca, a la acción de perforar agujeros en la masa de roca se le llama proceso de perforación y a los agujeros generados por esta acción se les denominan taladros, de manera general mientras más suave sea la roca la velocidad de penetración será mayor, en cambio si la roca a perforar es dura se requerirá mayor velocidad de torque y empuje.

Voladura: se considera un fenómeno fisicoquímico, de una determinada carga explosiva que al detonar fractura una masa de roca.

Explotación: en una actividad minera esto abarca desde la extracción de un yacimiento minero. Una explotación minera puede clasificarse en dos grandes grupos los cuales son: la minería subterránea y a cielo abierto. En algunos casos se desarrollan ambas operaciones un mismo yacimiento mineral y son considerados como operaciones mixtas.

Galería subterránea: excavaciones naturales o hechas por el hombre, los cuales se realizan o ubican debajo de la superficie terrestre.

Frente: definido como el tope máximo de una excavación subterránea, donde se siguen desarrollando las actividades de perforación y voladura para el avance del mismo.



Arranque: se definen como los taladros cargados que están destinadas a generar la segunda cara libre en una excavación subterránea, por ende, son los que primero reciben la chispa de iniciación.

Burden: se considera así a la distancia de un taladro perforado con respecto a la cara libre (taladro cargado con respecto al taladro de alivio), de forma vertical al eje del taladro, como de igual manera también se le denomina línea de resistencia menor.

Espaciamiento: se considera así a la distancia entre taladros cargados, es la distancia de diseño que se debe respetar entre un taladro próximo al otro.

Explosivos: se considera así al compuesto químico que almacena un descomunal potencial de energía, que sometidas al efecto de un iniciador u otro estímulo exterior desencadenan una reacción instantánea con gran violencia.

Factor de carga: se define como la cantidad de explosivo requerido para volar un m^3 de roca.

Costos operacionales: el costo operacional se define como aquel que se genera de manera continua durante el desarrollo de actividades de una empresa minera, y se encuentran ligados directamente a la producción, se le puede categorizar como costos directos e indirectos.

Sensibilidad: considerado así a la capacidad del explosivo de expandirse mediante la columna explosiva, así mismo esta predetermina el diámetro crítico que puede tener un explosivo, esto hace que el explosivo se comporte correctamente.

Macizo rocoso: se define como el conjunto completo, discontinuidades, bloque y matriz rocosa.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN

La Cía. Minera Poderosa S.A. se ubica a 360 km al noreste de la ciudad de Trujillo, en el departamento de La Libertad, Provincia y Distrito de Pataz. La extensión de sus concesiones se encuentra entre los niveles 1 200 y 3 100 m.s.n.m.

Geográficamente se ubica en la vertiente nororiental de la Cordillera de los Andes, dentro del Batolito de Pataz, al margen derecho del río Marañón.

3.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la mina puede hacerse por vía aérea y por vía terrestre. El acceso por vía terrestre toma comienzo en la ciudad Lima – Trujillo este tramo toma alrededor de 10 horas de viaje y de la ciudad de Trujillo – Chagual tiene una duración aproximada de 09 horas, de Chagual – Mina el tiempo de recorrido es de 1,2 horas aproximadamente.

El acceso por vía aérea se puede hacer desde las ciudades de Lima y Trujillo el cual tiene una duración aproximada de 1 hora y 20 minutos desde Lima; y 45 minutos desde Trujillo, hasta llegar al aeródromo de Chagual, que se encuentra aproximadamente a 30 km del campamento y las oficinas administrativas de la Unidad Santa María, distancia que se recorre con camioneta en un tiempo de 1 hora aproximadamente.

Tabla 4

Acceso hacia la Unidad Santa María por Vía Terrestre.

Recorrido	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Medio de transporte
Lima - Trujillo	560,0	10,0	Bus
Trujillo - Chagual	310,0	9,0	Bus
Chagual - Mina	30,0	1,2	Bus

Tabla 5

Acceso hacia la Unidad Santa María por Vía Aérea.

Recorrido	Distancia (km)	Tiempo (hrs)	Medio de transporte
Lima - Trujillo	560,00	1,25	Avión
Trujillo - Chagual	310,00	0,74	Avioneta
Chagual - Mina	30,0	0,75	Camioneta

3.3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.3.1. Tipo de investigación.

El presente trabajo de investigación se encuentra comprendido dentro del tipo de investigación experimental, ya que se manipuló la variable independiente para ver su efecto sobre la variable dependiente. Ya que, al rediseñar y aplicar una malla de perforación, esta tiene un efecto directo sobre los costos perforación y voladura ya sea de manera positiva o negativa. Hernández *et al.* (2014) describe que el tipo de investigación experimental manipula los tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones para poder observar sus efectos sobre las otras variables todo esto en un medio controlado.

3.3.2. Alcance o nivel de investigación.

El presente trabajo de investigación pertenece al nivel descriptivo ya que describe detalladamente todo el proceso de las operaciones de perforación y voladura y su manifestación, como también se especifican las propiedades y características de la malla de perforación anterior y el rediseñado, según Hernández *et al.* (2014) existen cuatro niveles de investigación los cuales son: el exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo; además sustenta que para un alcance descriptivo “con frecuencia, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las



características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas” p. 92.

3.3.3. Diseño de investigación.

El presente trabajo es de un diseño de investigación preexperimental, longitudinal y comparativo; porque, los controles se realizaron en un solo grupo el cual está conformado por la Galería San Fernando, antes y después de implementar el rediseño de malla de perforación. Para ver su efecto en la reducción de los costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando en la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Se dice que el término diseño se refiere a la estrategia concebida para obtener la información deseada con la finalidad de responder al planteamiento del problema. “Para visualizar más claramente el asunto del diseño, recordemos una interrogante coloquial: ¿le gustaré a Paola, por qué?; y la hipótesis: yo le resulto atractivo a Paola porque me mira frecuentemente” (Hernández *et al.*, 2014, p. 128). El diseño experimental tiene por lo menos dos interpretaciones, una de manera general y otra de manera particular. De manera general se refiere a efectuar una acción para posteriormente observar sus consecuencias (Babbie, 2014).

Hernández *et al.* (2014) describe que un diseño experimental, “se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (*supuestas causas antecedentes*), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (*supuestos efectos consecuentes*), dentro de una situación de control para el investigador” p.



129. Para un diseño experimental la variable dependiente no se manipula, se mide, de esta manera se puede ver el efecto que la manipulación de la variable independiente tiene sobre ella.

3.3.4. Enfoque de la investigación.

El presente trabajo de investigación es de un enfoque cuantitativo basado en la estadística no probabilística, ya que los datos recogidos son mediciones por lo tanto son datos numéricos. Hernández *et al.* (2014) dice que el enfoque cuantitativo representa un conjunto de procesos, de manera secuencial y probatorio; por lo tanto, no se pueden evadir pasos, el orden debe ser riguroso y solamente en algunos casos se puede redefinir alguna fase. Esto parte de una idea que es delimitada, y a partir de aquí se originan los objetivos y las preguntas de la investigación, se revisa la información literaria y se construye una perspectiva o marco teórico. A partir de las preguntas se establecen hipótesis y se determinan las variables, de acuerdo a esto se traza un plan para probarlas; en el enfoque cuantitativo se miden las variables en un contexto determinado, las mediciones obtenidas son analizadas utilizando los métodos estadísticos, a partir de aquí se obtienen las conclusiones con respecto a la hipótesis.

La recolección de datos es fundamentada con la medición de los datos. Esta recolección se lleva a cabo al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Para ser una investigación creíble y aceptada, se debe demostrar que se siguieron todos los procedimientos. La base para este enfoque está en la medición, por tanto, los fenómenos a estudiar deben poder observarse en el “mundo real”. Este enfoque refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación: ¿cada cuánto tiempo ocurren y la magnitud? (Hernández *et al.*, 2014)



3.4. POBLACIÓN

Para el presente trabajo de investigación, la población se constituyó por la Galería San Francisco, Galería San Fernando, Galería San Antonio, y Galería Santa María y Galería Briana cuyas secciones también son de 2,80 m x 3,00 m, desarrollados también con casi todos los parámetros utilizados para el avance de la Galería San Fernando en la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Hernández *et al.*, (2014) que a su vez cita a (Lepkowski, 2008) define que una población o universo es un conjunto de todas las instancias que concuerdan con una serie de especificaciones, entonces de preferencia se deben delimitar con claridad las características de la población con la finalidad de obtener los parámetros muestrales.

3.5. MUESTRA

Como muestra para desarrollar el presente trabajo de investigación se tiene, a la Galería San Fernando cuya sección es de 2,80 m x 3,00 m, con una longitud proyectada de 385 m, el cual fue desarrollado en roca dura granodiorita tipo II, con una densidad de 2,75 t/m³, en la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Según Hernández *et al.* (2014) se define a la muestra en esencia como un subconjunto o un subgrupo de los elementos que conforman a la población en particular y que trate de ser lo más posible un fiel reflejo de la población.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.6.1. Variable independiente

Malla de perforación y carga explosiva en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

3.6.2. Variable dependiente

Costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando de la Unidad

Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Tabla 6

Operacionalización de variables.

Tipo de variable	Indicador	Unidad de medida
Variable independiente:		
Malla de perforación y carga explosiva en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.	• Número de taladros	• total, taladros perforados
	• Espaciamiento	• metros
	• Burden	• metros
	• Factor de carga	• kg/m ³
Variable dependiente:		
Costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.	• Costo de perforación (máquina perforadora, barras, brocas, aceites y otros accesorios.)	• US\$/m
	• Costo de voladura (semexsa 65, carmex y mecha rápida.)	• US\$/m
	• Costo de mano de obra	• US\$/m

3.7. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Es muy importante identificar los métodos utilizados, en el estudio de investigación para antes y después fue, la toma de datos de campo (*mediciones*), la observación post disparo, el avance lineal obtenido, grado de fragmentación, reportes de guardia, antecedentes bibliográficos de la zona de estudio y los costos de perforación y voladura en las operaciones de avance de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.



3.7.1. Instrumentos para la toma de datos

Las herramientas utilizadas para el trabajo de investigación fueron el balance mensual en donde se verificó los costos y el avance del desarrollo de la Galería San Fernando informes diarios de actividad, informes mensuales de actividad, controles de productividad, equipos empleados, control sobre los agentes de voladura, cuadernos de campo, fichas de control y también fotografías para la evaluación de las voladuras.

- **Reporte de operación diaria:** avance por guardia, cantidad de taladros, cantidad de explosivos y accesorios, numero de regadas por guardia.
- **Reporte de operación semanal:** avance total, cantidad total de explosivos y accesorios utilizados, cantidad total de taladros disparados.

3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el procesamiento de datos recolectados se utilizó la estadística descriptiva, así se obtuvieron los promedios generales de las medidas hechas en campo como son: el avance lineal promedio por disparo, el consumo de explosivos, el número de taladros y el costo de perforación y voladura para cada una de las mallas anterior y actual, finalmente se utilizó las barras estadísticas para poder comparar los costos de perforación y voladura.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados de perforación y voladura anterior y el actual, se realizó en la Galería San Fernando de la Unidad Minera Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Donde se verificó el número de taladros utilizados antes y después del rediseño de malla de perforación, como también la carga explosiva utilizada en la voladura anterior y actual.

4.2. RESULTADOS POR OBJETIVOS

OBJETIVO I.

Reducir los costos de perforación mediante el rediseño de malla en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

4.3. MALLA DE PERFORACIÓN ANTERIOR

En la malla de perforación anterior se contemplaban 05 taladros para el arranque, de los cuales solamente 01 era considerado taladro de alivio y los otros 04 taladros estaban cargados. En total eran utilizados 41 taladros perforados, los cuales se calcularon empíricamente, en base a los conocimientos y experiencia del maestro perforista en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Tabla 7*Taladros perforados en la voladura anterior.*

Nomenclatura de taladros	N° de taladros utilizados
Alivio	01
Arranque	04
1ª Ayuda arranque	04
2ª Ayuda arranque	04
Cuadradores	08
Ayuda cuadradores	04
Alzas	04
Ayuda alzas	03
Arrastre	05
Ayuda arrastre	04
Total	41

4.4. MALLA DE PERFORACIÓN ACTUAL

La malla de perforación actual, fue diseñado tomando en cuenta las características y parámetros geomecánicos de la masa rocosa, se optó por utilizar el corte quemado debido a que el avance lineal por disparo se encuentran dentro de los parámetros que contempla del corte quemado, para el arranque se utilizaron de 06 taladros, de los cuales 03 taladros fueron destinados como taladros de alivio y 03 taladros fueron cargados, para la malla rediseñada fueron necesarios un total de 38 taladros perforados en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

4.4.1. Parámetros de campo utilizados

- Densidad de la roca : 2,75 Tm/m³
- Sección de la galería : 2,80 m x 3,00 m
- Diámetro del taladro de producción : 38 mm
- Diámetro del taladro de alivio : 38 mm
- Longitud de la barra de perforación : 5 ft = 1,52 m



4.4.2. Número de taladros a perforar

Modelo matemático empírico de (EXSA, 2019).

$$N^{\circ} \text{ Tls} = \frac{P}{dt} + S \times Ks$$

$$P = 4\sqrt{S}$$

$$S = a \times h$$

Donde:

P = Contorno o perímetro de la galería

dt = Constante (coeficiente de tipo de roca)

Ks = Constante (coeficiente de tipo de roca)

S = Área o sección de la galería

a = Ancho de la galería

h = Altura de la galería

a) SECCIÓN DE LA GALERÍA:

Datos:

$$S = a \times h$$

$$a = 2,80 \text{ m}$$

$$h = 3,00 \text{ m}$$

$$S = 2,80 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$$

$$S = 8,40 \text{ m}^2$$

b) PERÍMETRO DE LA GALERÍA:

$$P = 4\sqrt{S}$$

$$P = 4\sqrt{8,40 \text{ m}^2}$$



$$P = 4(2,90 \text{ m})$$

$$P = 11,59 \text{ m}$$

c) DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE TALADROS:

$$N^{\circ} \text{ Tls} = \frac{P}{dt} + S \times K_s$$

$$dt = 0,5$$

$$K_s = 2,0$$

$$N^{\circ} \text{ Tls} = \frac{11,59}{0,5} + 8,40 \times 2,0$$

$$N^{\circ} \text{ Tls} = 23,20 + 16,80$$

$$N^{\circ} \text{ Tls} = 39,9 \text{ taladros}$$

4.5. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA ACTUAL

4.5.1. Velocidad de perforación

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{\text{Longitud de taladro}}{\text{Tiempo efectivo del taladro}}$$

$$\text{Velocidad de perforación} = \frac{1,50}{2,33}$$

$$\text{Velocidad de perforación} = 0,64 \text{ m/minuto}$$

4.5.2. Eficiencia de disparo o avance por disparo.

$$L = 0,15 + 34,1 * D_1 - 39,4 * D_1^2$$

Donde:

L = Profundidad del taladro perforado (m).

D_1 = Diámetro del taladro de alivio (m), se debe cumplir $0,05 \leq D_1 \leq 0,25 \text{ m}$.

$$L = 0,15 + 34,1 * 0,039 - 39,4 * 0,039^2$$

$$L = 0,15 + 1,33 - 0,06$$

$$L = 1,42 \text{ m.}$$



4.5.3. Eficiencia de perforación o eficiencia de voladura

$$\text{Eficiencia de perforación} = \frac{\text{Avance efectivo}}{\text{Longitud de taladro}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de perforación} = \frac{1,41}{1,52} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de perforación} = 92,8 \%$$

4.5.4. Número de cartuchos por taladro

$$\text{Número de cartuchos} = \frac{\frac{2}{3} * L}{Le * 0,8}$$

Donde:

Le = Longitud del explosivo o cartucho (m)

L = Longitud de taladro perforado

0,80 = 80 % Longitud de carga

$$\text{Número de cartuchos} = \frac{\frac{2}{3} \times 1,52\text{m}}{0,20 \times 0,8}$$

$$\text{Número de cartuchos} = 6,08 \text{ cartuchos/taladro}$$

Tabla 8

Taladros perforados en la voladura actual.

Nomenclatura de taladros	N° de taladros utilizados
Alivio	03
Arranque	03
1ª Ayuda arranque	04
2ª Ayuda arranque	04
Cuadradores	06
Ayuda cuadradores	04
Alzas	03
Ayuda alzas	02
Arrastre	05
Ayuda arrastre	04
Total	38

4.6. COSTOS DE PERFORACIÓN ANTERIOR

En los costos de perforación anterior se han considerado el costo de: máquina perforadora, materiales de perforación, mano de obra, herramientas, implementos de seguridad y otros, dichos costos resultan elevados debido al mayor número de taladros utilizados y debido a esto un mayor consumo de explosivos en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Como se muestran a continuación en las (Tablas 9 al 14).

Tabla 9

Mano de obra.

1,0 US\$ = S/. 3,68

Mano de obra directa	Cantidad de personas	Jornal (S/.)	Costo (US\$/m)
Capataz	01	80,00	16,35
Perforista	01	75,00	15,32
Ayudante perforista	01	70,00	14,30
Bodeguero	01	60,00	12,26
Sub total			58,23
Leyes sociales	60%		34,94
Total			93,17

En la tabla 9 se describen los costos por mano de obra con todos los beneficios de ley el cual resulta en 93,17 US\$/m.

Tabla 10

Costo de máquina perforadora.

Equipo	Costo US\$	Vida útil Pies perforados	US\$/ft	Pies perforados	US\$/m
Máquina perforadora	5 049	120 000	0,04	205	6,17
Total					6,17

En la tabla 10 se describe el costo por metro de la máquina perforadora cuyo costo es de 6,17 US\$/m.

Tabla 11*Aceros de perforación.*

Accesorios	Cantidad	Costo (US\$/unidad)	Vida útil (pp.)	Pies perforados	US\$/ft	US\$/m
Barra cónica	2	98	1,200	205	0,08	12,33
Broca de 39 mm	1	31	450	41	0,07	2,16
Broca de 38 mm	2	29	450	164	0,06	7,40
Total						21,89

En esta parte de la tabla 11 se detallan los costos de los aceros de perforación, el costo total de los aceros de perforación haciende a 21,89 US\$/m.

Tabla 12*Materiales de perforación.*

Mangueras y accesorios	Cantidad	Costo por galón (US\$)	Costo (US\$/m)	Vida útil (pp.)	Costo (US\$/m)
Manguera de ½ pulgada	35 m		1,63	2500	0,02
Manguera de 1 pulgada	35 m		3,38	2500	0,04
Aceite de perforación	0,25galones	16,82			3,16
Costo total					3,22

En esta parte de la tabla 12 se detallan los costos de los materiales de perforación, teniendo como el costo más elevado el del aceite de perforación, el costo en general es de 3,22 US\$/m.

Tabla 13*Herramientas y otros materiales.*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo (US\$)	Vida Útil (días)	Costo (US\$/m)
Barretillas	Unidad	3	10,38	50	0,47
Palas	Unidad	1	12,67	120	0,08
Picos	Unidad	1	12,72	120	0,08
Combos	Unidad	1	16,48	150	0,08
Cucharilla	Unidad	03	3,62	90	0,09
Alambre	kilogramo	0,25	1,53	1	0,29
Llave Stillson N°15	Unidad	1	14,67	360	0,03
Atacador	Unidad	3	2,52	60	0,09
Total					1,21

En la tabla 13 se describen los diferentes costos de las herramientas y otros materiales, en general obtenemos un costo total de 1,21 US\$/m.

Tabla 14*Equipos de protección personal.*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US\$	Vida Útil (días)	Costo (US\$/m)
Protector de cabeza	Unidad	4	12,94	300	0,13
Guantes de cuero	Pares	4	4,77	25	0,57
Correas porta lámpara	Unidad	4	3,85	300	0,04
Botas de jebe	Pares	4	21,23	180	0,35
Mamelucos	Unidad	4	23,55	180	0,39
Respiradora	Unidad	4	22,64	180	0,38
Filtro de respiradores	Pares	4	5,73	15	1,15
Tapón de oídos	Pares	4	2,54	120	0,06
Ropa de jebe	Unidad	2	31,68	120	0,40
Lentes de seguridad	Unidad	4	10,47	120	0,26
Lámpara de batería	Unidad	4	116,25	120	2,91
Total					6,64

En la tabla 14 se muestran los equipos de protección personal utilizados, en el cual los filtros de los respiradores resultan como los costos más elevados debido a su corta vida útil y empleo continuó, en general estos costos resultan en un total de 6,64 US\$/m.

Tabla 15*Costo total de la perforación anterior.*

Descripción	Costo US\$/m
Mano de obra	93,17
Costo de máquina perforadora	6,17
Materiales de perforación	25,11
Herramientas y materiales	1,21
Equipos de protección personal	6,64
Total	132,30

En esta tabla 15 se muestra el costo general de perforación anterior que resulta en **132,30 US\$/m**, de entre ellos destaca la mano de obra como el costo más elevado.

4.7. COSTO DE PERFORACIÓN ACTUAL

Al rediseñar la malla de perforación teniendo en cuenta las características de la masa rocosa, el costo en mano de obra, herramientas y materiales empleados en la perforación y voladura como también los equipos de protección personal se redujeron como se muestran a continuación en las Tablas (16 al 21).

Tabla 16

Mano de obra actual reducido.

1,0 US\$ = S/. 3,68

Mano de obra directa	N° de personal	Jornal en soles	Costo (US\$/m)
Capataz de mina	01	80,00	15,42
Perforista	01	75,00	14,45
Ayudante perforista	01	70,00	13,49
Bodeguero	01	60,00	11,56
Sub total			54,92
Leyes sociales	60%		32,95
Total			87,87

En la tabla 16 se muestran los costos por mano de obra con la actividad de perforación actual los cuales se reducen debido al incremento del avance lineal y la menor cantidad de taladros perforados, estos costos resultan en 87,87 US\$/m.

Tabla 17

Costo de máquina perforadora actual reducido.

Equipo	Costo US\$	Vida útil Pies perforados	US\$/ft	Pies perforados	Costo (US\$/m)
Máquina perforadora	5 049	120 000	0,04	190	5,39
Total					5,39

En la tabla 17 se muestra el costo de la máquina perforadora actual reducido, debido a la menor cantidad de taladros perforados, su costo total es de 5,39 US\$/m.

Tabla 18*Costo de aceros de perforación actual reducido.*

Descripción	Cantidad	Costo US\$/uni- dad	Vida útil (pp.)	Pies perforados	(US\$/ft) perforados	Costo (US\$/m)
Barras cónicas	2	98	1,200	190	0,08	10,78
Broca de 39 mm	1	31	450	38	0,07	1,89
Broca de 38 mm	2	29	450	152	0,06	6,47
Total						19,14

En la tabla 18 se muestran los costos de los aceros de perforación actual reducido, de los cuales el costo más elevado sigue siendo el de la barra cónica con 10,78 US\$/m. el total de todos estos costos resulta en 19,14 US\$/m

Tabla 19*Costo de materiales de perforación actual reducido.*

Mangueras y accesorios	Cantidad	Costo por galón (US\$)	Costo (US\$/m)	Vida útil (pp.)	Costo (US\$/m)
Manguera de ½ pulgada	35 m		1,63	2500	0,01
Manguera de 1 pulgada	35 m		3,38	2500	0,03
Aceite de perforación	0,25galones	16,82			2,98
Costo total					3,02

En la tabla 19 se muestran los costos de los materiales de perforación actual reducido, de los cuales el costo más elevado es el de la barra cónica con 10,78 US\$/m. el total de todos estos costos resulta en 22,16 US\$/m.

Tabla 20*Costo de herramientas y otros materiales actuales reducido.*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo (US\$)	Vida Útil día	Costo (US\$/m)
Barretas	Unidad	3	10,38	50	0,44
Palas	Unidad	1	12,67	120	0,07
Picos	Unidad	1	12,72	120	0,08
Combo	Unidad	1	16,48	150	0,08
Cucharilla	Unidad	3	3,62	90	0,09
Alambre	kg.	0,25	1,53	1	0,27
Llave stilson N°15	Unidad	1	14,67	360	0,03
Atacador	Unidad	3	2,52	60	0,09
Total					1,15

En la tabla 20 se muestran todas las herramientas y otros materiales con costo reducido debido a la menor cantidad de taladros perforados e incremento en el avance lineal, cuyo costo general es de 1,15 US\$/m.

Tabla 21*Costo de los equipos de protección personal actual reducido.*

Descripción	Medida	Cantidad	Costo US\$	Vida útil Día	Costo (US\$/m)
Protector de cabeza	Unidad	4	12,94	300	0,12
Guantes de cuero	Pares	4	4,77	25	0,54
Correas porta lámpara	Unidad	4	3,85	300	0,04
Botas de jebe	Pares	4	21,23	180	0,33
Mamelucos	Unidad	4	23,55	180	0,37
Respirador	Unidad	4	22,64	180	0,36
Filtro de respiradores	Pares	4	5,73	15	1,08
Tapón de oídos	Pares	4	2,54	120	0,06
Ropa de jebe	Unidad	2	31,68	120	0,37
Lentes de seguridad	Unidad	4	10,47	120	0,25
Lámpara de batería	Unidad	4	116,25	120	2,75
Total					6,27

En la tabla 21 se muestran los costos de los equipos de protección personal (EPPs) actual reducido, aquí también se puede encontrar como costo más elevado al costo relacionado a los filtros de los respiradores con 1,08 US\$/m, el costo total en esta tabla resulta en 6,27 US\$/m.

Tabla 22

Costo total de la perforación actual reducido.

Descripción	Costo US\$/m
Mano de obra	87,87
Costo de máquina perforadora	5,39
Materiales de perforación	22,16
Herramientas y materiales	1,15
Equipos de protección personal	6,27
Total	122,84

En la presente tabla 22 el costo general de perforación actual reducido resulta en **122,84 US\$/m**, de entre ellos se mantiene la mano de obra como el costo más elevado, debido a que es un costo fijo.

4.7.1. Comparación de costos de perforación

1. Costo anterior = 132,30 US\$/m.
2. Costo actual reducido = 122,84 US\$/m.

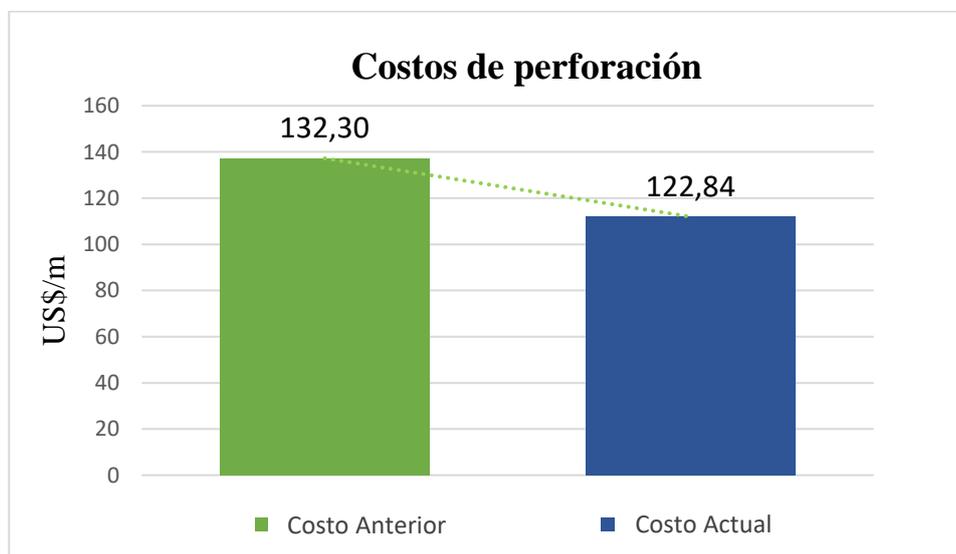


Figura 6. Costos de perforación en la Galería San Fernando.

OBJETIVO II.

Reducir el costo de voladura mediante la carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

4.8. DATOS DE LA VOLADURA ANTERIOR

Para desarrollar el avance de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, en la voladura anterior se empleaba el explosivo Semexsa 65, cuyo consumo fue mayor, debido a la falta de los cálculos previos correspondientes a la voladura teniendo en cuenta los parámetros y la calidad de la roca encajonante en el frente la labor minera.

Tabla 23

Explosivos Semexsa 65 utilizados en la voladura anterior.

Descripción	N° de taladros	N° de Cart/taladro	Total, de cartuchos (Unidad)	Peso de cartucho en (kg)	Peso total (kg)
Alivio	01	0	0	0	0
Arranque	04	7	28	0,080	2,24
1ª Ayuda arranque	04	7	28	0,080	2,24
2ª Ayuda arranque	04	6	24	0,080	1,92
Cuadradores	08	5	40	0,080	3,20
Ayuda cuadradores	04	5	20	0,080	1,60
Alzas	04	5	20	0,080	1,60
Ayuda alzas	03	4	12	0,080	0,96
Arrastre	05	5	25	0,080	2,00
Ayuda arrastre	04	4	16	0,080	1,28
Total	41		213		17,04

En la presente tabla 23 se describe la cantidad de cartuchos cargados por cada taladro, así como también el peso de los explosivos por taladro, tenemos un total de 213 cartuchos (17,04 kg).



4.8.1. Volumen fracturado

$$V = I * a * h$$

Donde:

V = Volumen total (m^3).

I = Profundidad de la perforación (m).

a = Ancho de la sección de la galería (m).

h = Altura de la galería (m).

$$V = 1,33 \text{ m} \times 2,80 \text{ m} \times 3,00 \text{ m}$$

$$V = 11,17 \text{ m}^3$$

4.8.2. Tonelaje fracturado

$$Tm = V * \rho$$

Donde:

V = Volumen total (m^3).

ρ = Densidad promedio de la roca (Tm/m^3).

$$Tm = 11,17 \text{ m}^3 \times 2,75 \text{ Tm/m}^3$$

$$Tm = 30,72 \text{ Tm}$$

4.8.3. Factor de carga explosiva

$$Fce = \frac{Kg\text{-explosivo}}{\text{Volumen roto}}$$

$$Fce = \frac{17,04Kg}{11,17m^3}$$

$$Fce = 1,52 \text{ kg/m}^3$$

4.8.4. Factor de carga lineal

$$Fce = 1,52 \text{ kg/m}^3$$

$$Fcl = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{metro lineal}}$$

Fcl = Factor de carga lineal

$$Fcl = \frac{17,04 \text{ kg}}{1,41 \text{ m}}$$

$$\mathbf{Fcl = 12,08 \text{ kg/m}}$$

4.8.5. Factor de potencia del explosivo

$$Fp = \frac{\text{Kg - explosivo}}{\text{Tonelaje roto}}$$

$$Fp = \frac{17,04 \text{ Kg}}{30,72 \text{ Tm}}$$

$$\mathbf{Fp = 0,55 \text{ kg/Tm}}$$

Tabla 24

Resultados de los parámetros de la voladura anterior.

Parámetros	Semexsa 65
Cantidad de explosivo utilizado	17,04 kg
Volumen fracturado	11,17 m ³
Tonelaje fracturado	30,72 Tm
Factor de carga explosiva	1,52 kg/m ³
Factor de potencia del explosivo	0,55 kg/Tm
Factor de carga lineal	12,81 kg/m

En la presente tabla 24 se muestran detalladamente todos los parámetros de la voladura anterior.

4.9. DATOS DE LA VOLADURA ACTUAL

En la voladura optimizada o actual reducida se utilizó el explosivo Semexsa 65, para el avance de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad, cuyos cálculos de factor de carga explosiva se han realizado según el comportamiento de la masa rocosa de labor subterránea.

Tabla 25

Explosivos Semexsa 65 utilizados en la voladura actual reducido.

Descripción	N° de Taladros	N° de Cartucho/taladro	Total, de cartuchos (Unidad)	Peso de cartucho (kg)	Peso total (kg)
Alivio	03	0	0	0	0
Arranque	03	7	21	0,080	1,68
1ª Ayuda arranque	04	6	24	0,080	1,92
2ª Ayuda arranque	04	5	20	0,080	1,60
Ayuda cuadradores	04	5	20	0,080	1,60
Cuadradores	06	6	36	0,080	2,88
Ayuda Alzas	02	4	8	0,080	0,64
Alzas	03	5	15	0,080	1,20
Ayuda arrastre	04	5	20	0,080	1,60
Arrastre	05	5	25	0,080	2,00
Total	38		189		15,12

En la presente tabla 25 se describe la cantidad de cartuchos cargados por cada taladro, que resulta en un total de 189 cartuchos utilizados, con un peso de 15,12 kg.

4.9.1. Datos de campo utilizados

- Densidad de la roca : 2,75 Tm/m³
- Sección de la galería : 2,80 m x 3,00 m
- Diámetro del taladro de producción : 38 mm
- Diámetro del taladro de alivio : 39 mm
- Longitud de la barra de perforación : 5 ft = 1,52 m



4.9.2. Volumen fracturado

$$V = L_p \times a \times h$$

Donde:

V = Volumen fracturado (m³)

L_p = Longitud de perforación (m)

a = Ancho de la galería (m)

h = Altura de la galería (m)

$$V = 1,41 \text{ m} \times 2,80 \text{ m} \times 3,00 \text{ m.}$$

$$V = 11,84 \text{ m}^3$$

4.9.3. Tonelaje fracturado

$$T_m = V \times \rho$$

Donde:

T_m = Tonelada métrica de material fracturado

V = Volumen fracturado

ρ = Densidad promedio de la roca (kg/m³).

$$T_m = 11,84 \text{ m}^3 \times 2,75 \text{ Tm/m}^3$$

$$T_m = 32,56 \text{ Tm}$$

4.9.4. Factor de carga explosiva

$$F_c = \frac{Kg - \text{explosivo}}{\text{Volumen fracturado}}$$

$$F_c = \frac{15,12}{11,84}$$

$$F_c = 1,27 \text{ kg/ m}^3$$

4.9.5. Factor de carga lineal

Fcl = Factor de carga lineal

$$Fcl = \frac{Kg-explosivo}{metro\ lineal}$$

$$Fcl = \frac{15,12\ Kg}{1,41\ m}$$

$$Fcl = 10,72\ kg/m$$

4.9.6. Factor de potencia del explosivo

$$Fp = \frac{kg-explosivo}{Tonelaje\ fracturado}$$

$$Fp = \frac{15,12\ kg}{32,56Tm}$$

$$Fp = 0,46\ kg/Tm$$

Tabla 26

Resumen de los resultados de la voladura actual reducido.

Parámetros	Explosivo Semexsa 65
Cantidad de explosivo utilizado	15,12 kg
Volumen fracturado	11,84 m ³
Tonelaje fracturado	32,56 Tm
Factor de carga explosiva	1,27 kg/m ³
Factor de potencia del explosivo	0,46 kg/Tm
Factor de carga lineal	10,72 kg/m

En la presente tabla 26 se muestran detalladamente todos los parámetros de la voladura actual reducido.

4.10. COSTO TOTAL DE LA VOLADURA ANTERIOR

Tabla 27

Costo de materiales de la voladura anterior.

Insumos	Unidad	Precio US\$	Cantidad por disparo	Costo (US\$/m)
Semexsa 65	Cartucho	1,06	213	169,76
Carmex	Unidad	0,69	40	20,75
Mecha rápida	Metros	0,43	8,0	2,58
Total				193,09

En esta tabla 27 se muestran el costo de cada uno de los materiales de la voladura anterior, del cual tenemos un costo total de 193,09 US\$/m.

COSTO TOTAL DE VOLADURA ANTERIOR = 193,09 US\$/m.

4.11. COSTO TOTAL DE LA VOLADURA ACTUAL

Tabla 28

Costos de materiales de la voladura actual.

Insumos	Unidad	Precio (US\$)	Cantidad/disparo	Costo (US\$/m)
Semexsa 65	Cartucho	1,06	183	137,57
Carmex	Unidades	0,69	35	17,13
Mecha rápida	Metros	0,43	7,5	2,29
Total				156,99

En esta tabla 28 se muestran el costo de cada uno de los materiales de la voladura actual reducido, del cual tenemos un costo total de 156,99 US\$/m.

COSTO TOTAL DE VOLADURA ACTUAL REDUCIDO = 156,99 US\$/m.

4.11.1. Comparación de los costos de voladura

1. Costo anterior = 193,09 US\$/m.

2. Costo actual reducido = 156,99 US\$/m.

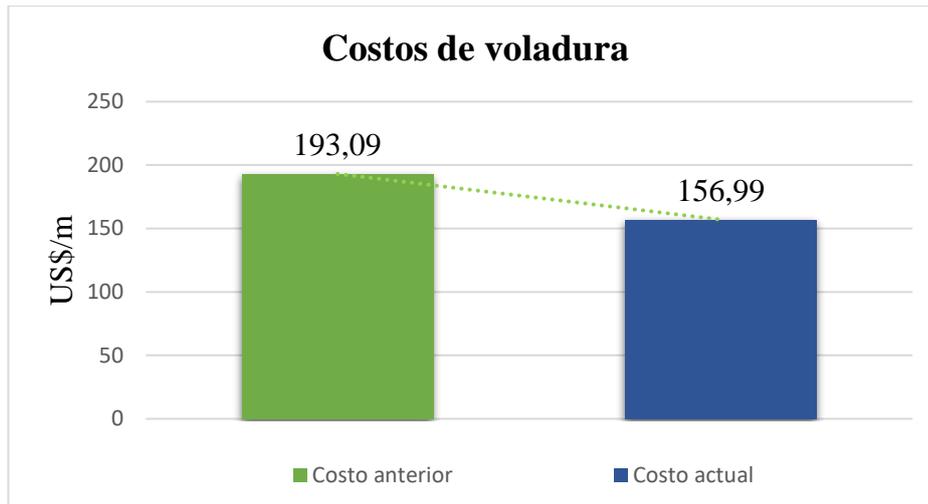


Figura 7. Costos de voladura en la Galería San Fernando.

4.12. RESULTADOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

En base al cálculo que se realizó en la perforación y voladura anterior y actual respectivamente en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Se llegó a los siguientes resultados, los mismos que se muestran en las Tablas 29 y 30.

Tabla 29

Resultados de perforación y voladura en la Galería San Fernando.

Descripción	Anterior	Actual (reducido)	Diferencia	Unidad de medida
Taladros perforados	41	38	3	Taladros
Taladros cargados	40	35	5	Taladros
Semexsa 65	213	189	24	Cartuchos
Carmex	40	35	5	Unidades
Mecha rápida	8,0	7,5	0,5	m
Explosivo kg/disparo	17,04	15,12	1,92	kg
Factor de carga	1,52	1,27	0,25	kg/m ³
Factor de potencia	0,55	0,46	0,09	kg/Tm
Factor de carga lineal	12,81	10,72	2,09	kg/m
Avance lineal: m/disparo	1,33	1,41	0,08	m

En la tabla 29 se ven los resultados de la perforación y voladura anterior y actual reducido respectivamente, destacando que en la voladura actual reducido; se incrementó el avance lineal en 0,08 metros.

Tabla 30

Comparación de costos de perforación y voladura.

Descripción	Anterior	Actual (reducido)	Diferencia
	US\$/m	US\$/m	US\$/m
Mano de obra	93,17	87,87	5,30
Equipo de perforación	6,17	5,39	0,78
Materiales de perforación	25,11	22,16	2,95
Implementos de seguridad	6,64	6,27	0,37
Herramientas y otros	1,21	1,15	0,06
Materiales de voladura	193,09	156,99	36,10
Costo total US\$/m	325,39	279,83	45,56

En la presente tabla 30 se comparan los costos de perforación y voladura anterior y actual, y se muestra a su vez la cantidad total de ahorro que viene a ser de **45,56 US\$/m**.

4.12.1. Comparación de los costos de perforación y voladura.

1. Costo de perforación y voladura anterior = **325,39 US\$/m**.
2. Costo de perforación y voladura actual = **279,83 US\$/m**.

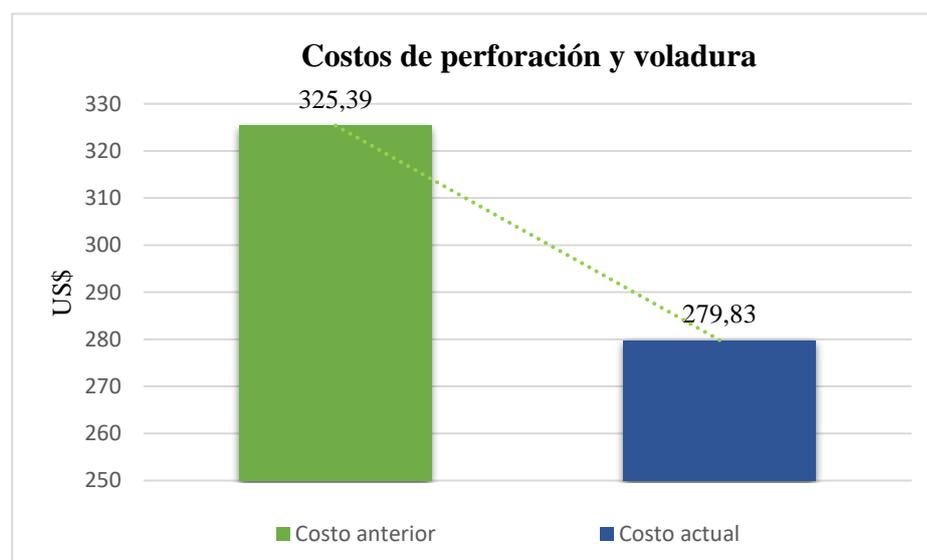


Figura 8. Costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando.



4.13. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS CON OTRAS FUENTES

Los resultados a un nivel general del presente trabajo de investigación, en el que se logró reducir los costos de perforación y voladura de 325,39 US\$/m a 279,83 US\$/m, logrando una reducción total de 45,76 US\$/m. En comparación con Chipana (2015) utilizando un método similar, rediseñando la malla de perforación y determinando la carga explosiva adecuada, también logró reducir los costos de perforación y voladura de 294,90 US\$/m a 235,64 US\$/m, logrando reducir los costos de estas operaciones en 59,26 US\$/m.

En el presente trabajo de investigación en costo de perforación se redujo de 132,30 US\$/m a 122,84 US\$/m logrando un ahorro de 9,46 US\$/m, esta reducción se logró gracias al rediseño de malla de perforación. Este resultado contrasta con los resultados de Mamani (2020) que, al evaluar las operaciones unitarias de perforación y voladura, específicamente al rediseñar la malla logró que el costo de perforación se redujera de 158,54 US\$/m hasta 141,88 US\$/m, logrando un ahorro de 16,66 US\$/m en los costos de perforación.

Existe una reducción de los costos de voladura al determinar la carga explosiva adecuada para el presente trabajo de investigación, el cual se redujo de 193,09 US\$/m a 156,99 US\$/m, con una diferencia de 36,10 US\$/m el cual representa un ahorro en los costos de voladura. Este resultado es parecido al de Mamani (2020) quien también, al determinar la carga explosiva adecuada, redujo los costos de voladura desde 123,39 US\$/m hasta 97,73 US\$/m, logrando un ahorro de 25,66 US\$/m.



V. CONCLUSIONES

De manera general, que con el rediseño de malla perforación y carga explosiva adecuada, los costos de perforación y voladura se redujeron de 325,39 US\$/m a 279,83 US\$/m, logrando un ahorro de 45,56 US\$/m, el cual representa una reducción del 14 % del costo anterior, en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Con el rediseño de la malla de perforación, se concluye que solamente son necesarios 38 de los 41 taladros que tenía la malla anterior, por lo tanto, los costos de perforación se redujeron de 132,30 US\$/m a 122,84 US\$/m, logrando un ahorro de 9,46 US\$/m, en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Que al determinar la carga explosiva adecuada, los costos de voladura se redujeron de 193,09 US\$/m a 156,99 US\$/m, con una diferencia de 36,10 US\$/m, esto es debido a que el número de taladros cargados de la malla anterior era de 40 taladros con un total de 17,04 kg de explosivo para un avance de 1,33 m, en la nueva malla de perforación solo se tienen 35 taladros cargados con 15,12 kg de explosivo para un avance de 1,41 m, beneficiando así directamente a la reducción de costos de voladura y al avance lineal en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad



VI. RECOMENDACIONES

Realizar el estudio de la optimización del avance lineal por disparo utilizando emulsiones en las zonas cercanas al Anexo San Fernando, para aplicarlo en las labores subterráneas de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

Realizar la capacitación permanente en el manejo de explosivos y el cumplimiento de las normas internas de seguridad y salud ocupacional en el desarrollo de las labores subterráneas de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.

En vista de la necesidad de un estudio geomecánico, se recomienda desarrollar un estudio de caracterización del macizo rocoso de las cercanías de la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía. Minera Poderosa S.A. – La Libertad.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Araca Mamani, R. S. (2018). *Optimización de costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia de la Compañía Minera Arcata S.A. Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16308>
- Araucano Domínguez & Mamani Oviedo (2017). *Planeamiento en minería subterránea* [Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano - Puno].
- Babbie Earl. (2014). *Fundamentos de la Investigación Social*, [Universidad de Chapman - California].
- Cámac Torres, A. (2012). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. [Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano - Puno].
- Cáceres Navarro, L. (2017). *Optimización de la perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el crucero 10014 de la empresa minera Marsa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4491>
- Cebrián Romo, B., López Jimeno, C., López Jimeno, E., Rocha Gil, M. y García Bermúdez,
- Chahuares Sayritupa, F. C. (2012). *Nuevo diseño de la malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo, Mina el Cofre* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Biblioteca de la facultad de ingeniería de minas, Cod: 402.



- Contreras Pérez, W. J. (2009). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones: Aplicación en minas Ares* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería - Lima]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/663>
- Chipana Tito, R. M. (2015). *Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galeria Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/1937>
- Condori Mamani, E. (2019). *Minimización de costos en perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva en los tajeos Porvenir y Alicia de la Empresa Minera Aurífera Estrella de Chaparra S.A. - Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12355>
- Correa Namoc, L. J. (2016). *reducción de costos operativos mediante la estandarización de malla de perforación - voladura, para labores horizontales: sección 4.0 m. x 4.0 m., mina socorro - uchucchacua.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo - La Libertad]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5337>
- Durant Broden, J. (2017). *Ingeniería de costos* [Facultad de Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano - Puno].
- De la Cruz Graus, O. (2018). *Optimización de costos en perforación y voladura estandarizando malla para sección 2.40m x 2.40m en la empresa cáncer e.i.r.l. – marsa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo - La Libertad].



Repositorio institucional. Obtenido de
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11054>

EXSA, E. (2020). *Manual Práctico de Voladura* [Edición especial Perú].

FAMESA, E. (2019). *Manual de perforación y voladura* [FAMESA Explosivos S.A.C.],
Edición 2019

Garrido Llosa, J. J. (2015). *Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animon* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería - Lima]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2101>

Hernández, Fernández & Baptista (2014). *Metodología de la Investigación*, [McGraw - Hill Interamericana de Editores S.A. -México], Sexta edición.

Hopler, Robert B. (2008). *Manual del Especialista en Voladura*, [International Society of Explosives Engineers, Cleveland Ohio - USA], 17ava edición.

Iriarte Izaguirre, L. F. (2012). *Gerencia Estratégica de Costos y Presupuestos en Minería*.

Jáuregui Aquino, O. A. (2011). *Reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú - Lima]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/696>

Konya, C. J. (2000). *Manual de perforación y voladura de rocas en labores mineras subterráneas*.

López Jimeno, C. (2005). *Manual de perforación y voladura de rocas*, [Instituto Geológico y Minero España], Edición 2005.



- Mamani Pacoricoma, N. (2015). *Optimización de Costos de Perforación y Voladura en la Mina Maribel de Oro Ananea – Poquera* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Biblioteca de la facultad de ingeniería de minas, Cod: 483.
- Mamani Tinta, W. (2020). *Optimización de costos de producción mediante la evaluación de las operaciones de perforación y voladura en la galería N12 de la empresa minera SOTRAMI S.A – Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/14004>
- Pino Chili, R. R. (2019). *Optimización de avance lineal con nuevo diseño de malla en el frente de la galería San Jorge en la minera aurífera Cuatro de Enero S.A. – Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10730>
- Ramos Borda, Luis. (2016). *Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la Mina Ana María mediante estandarización de perforación y voladura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3006>
- Sanz Contreras & Santamaría Arias (2009). *Manual para el control y diseño de voladuras en obras de carreteras* [Ministerio de Obras Públicas y Transportes Dirección General de Carreteras Madrid - España], Cuarta edición.
- Tapia Condori, W. (2015). *Optimización de la Producción y Avance Mediante Diseño de Perforación y Voladura en Rampa 650 en la Empresa Especializada IESA S.A. CIA MINERA ARES S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del



Altiplano - Puno]. Página web. Obtenido de
<https://es.slideshare.net/tomasnapachigogrerio/optimizacin-de-la-produccion-y-avance-mediante-diseo>

Velásquez Iparraguirre, J. D. (2015). *Estudio descriptivo de optimización de los agentes de voladura para controlar y/o mitigar los gases tóxicos generados al ser detonados, Cajamarca – Perú, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte - Cajamarca]. Repositorio institucional. Obtenido de
<https://hdl.handle.net/11537/7102>

Ynquilla Mamani, J. (2017). *Diseño de mallas de perforación para la estandarización del frente de la galería de desarrollo nivel intermedio de la corporación minera Ananea S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. Repositorio institucional. Obtenido de
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/7228>



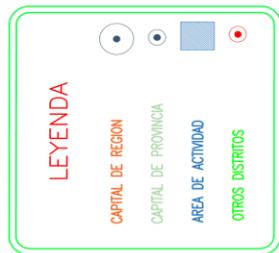
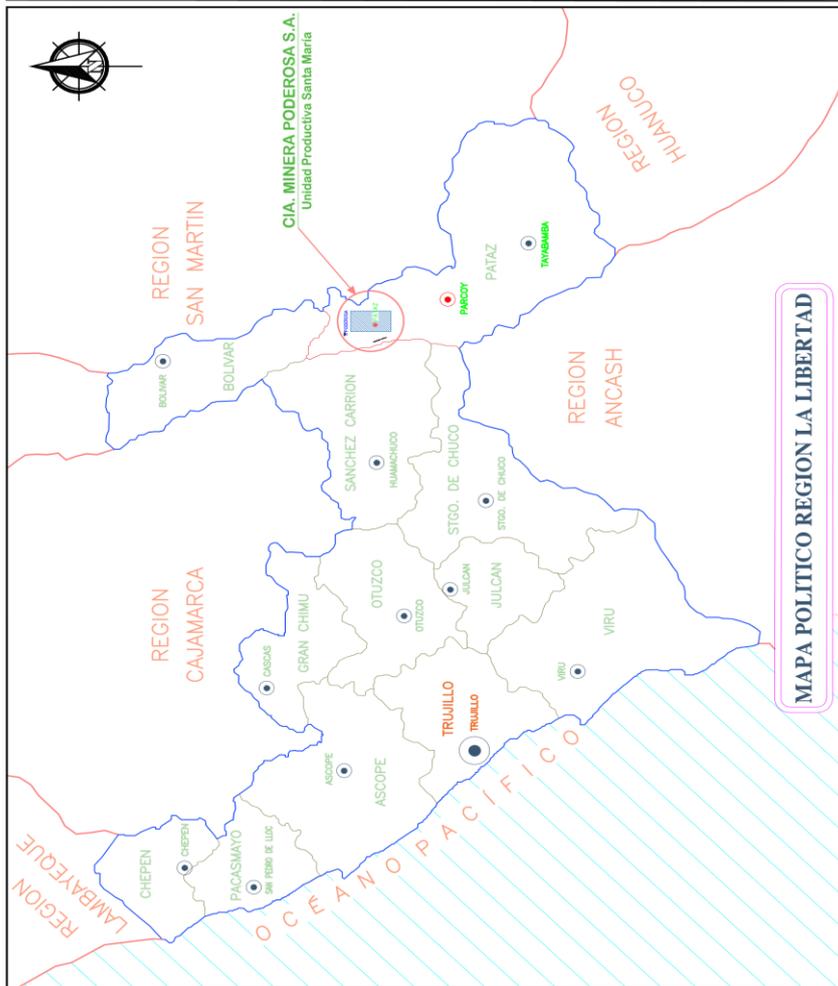
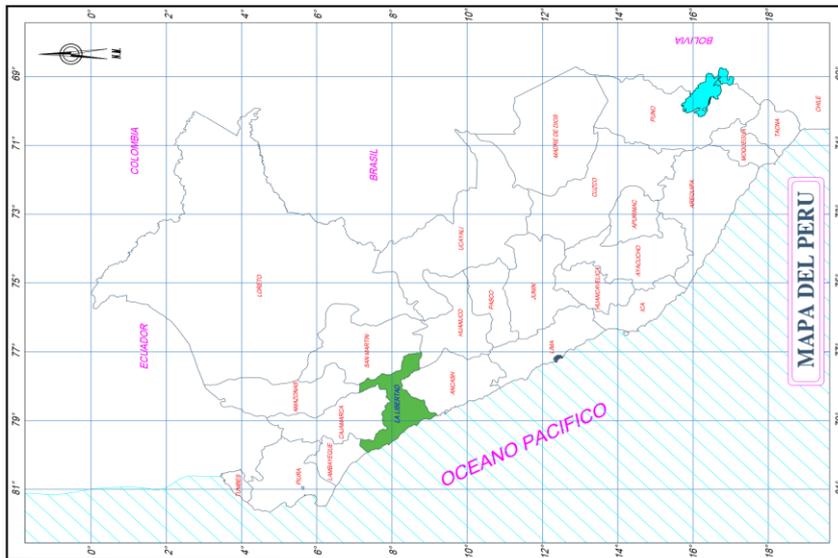
ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia.

TITULO: “REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA MEDIANTE REDISEÑO DE MALLA Y CARGA EXPLOSIVA ADECUADA EN LA GALERÍA SAN FERNANDO DE LA UNIDAD SANTA MARÍA, CÍA MINERA PODEROSA S.A. – LA LIBERTAD”.

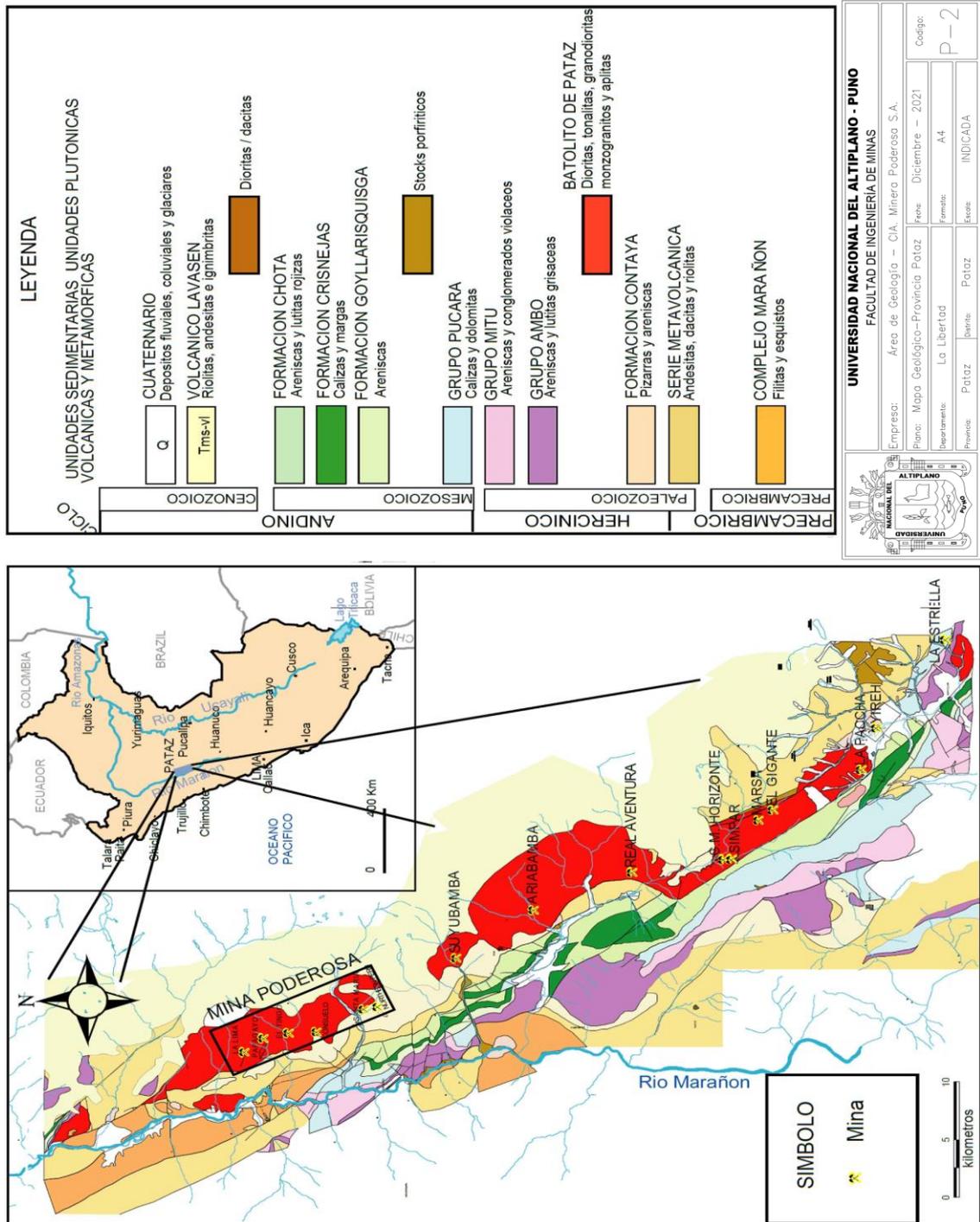
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
<p>1. Problema general ¿Cómo se reducen los costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad?</p> <p>Problema específico ✓ ¿Cuál es el rediseño de malla para la reducción de los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad?</p> <p>✓ ¿Cuál es la carga explosiva adecuada para la reducción de costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad?</p>	<p>1. Objetivo general Reducir los costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad.</p> <p>Objetivos específicos ✓ Rediseñar la malla para reducir los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad.</p> <p>✓ Determinar la carga explosiva adecuada para la reducción de costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad.</p>	<p>1. Hipótesis general Con el rediseño de malla y carga explosiva adecuada, se reducen los costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad.</p> <p>2. Hipótesis específicas ✓ Rediseñando la malla, se reducen los costos de perforación en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad. ✓ Con la carga explosiva adecuada, se reducen los costos de voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad.</p> <p>Variables e indicadores 1. Variable independiente Malla de perforación y carga explosiva adecuada en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Unidad de medida: pies perforados, metros, kg/m^3 2. Variable dependiente Costos de perforación y voladura en la Galería San Fernando de la Unidad Santa María de la Cía Minera Poderosa S.A. – La Libertad. Unidad de medida: US\$/m.</p>	<p>a) Tipo de investigación Experimental.</p> <p>b) Enfoque de investigación Enfoque cuantitativo basado en la estadística no probabilística.</p> <p>c) Alcance o nivel de investigación Descriptivo.</p> <p>d) Diseño de investigación Pertenece al diseño preexperimental, longitudinal y comparativo</p> <p>e) Fases de la investigación ✓ Recopilación, análisis y evaluación de las informaciones anteriores. ✓ Evaluación del diseño de la malla anterior. ✓ Evaluación de la eficiencia del disparo. ✓ Evaluación de avances ✓ Informe final</p> <p>f) Población La población está constituida por la Galería San Francisco, Galería San Fernando, Galería San Antonio, y Galería Santa María y Galería Briana cuyas secciones son de 2,80 m x 3,00 m.</p> <p>g) Muestra La muestra está constituida por el frente de la Galería San Fernando el cual tiene una sección de 2,80 m x 3,00 m.</p> <p>h) Técnicas ✓ Recolección de datos de campo (mediciones antes y post disparo). ✓ Revisión de datos, cuadros estadísticos y control de la eficiencia de la perforación y voladura.</p>

ANEXO 2. Plano de Ubicación Cía. Minera Poderosa S.A.



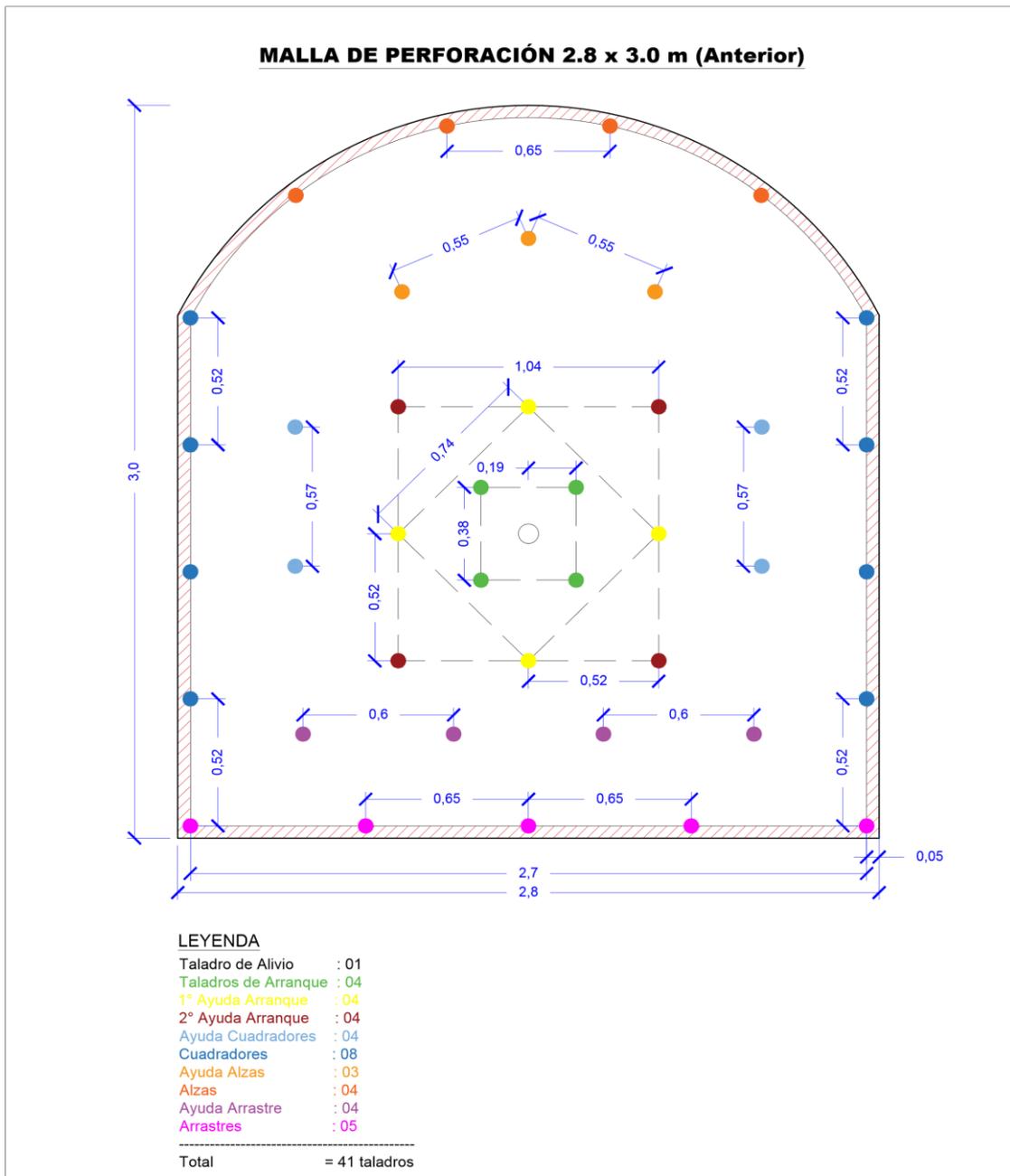
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		Codigo: P-1
		FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS		
Empresa: Unidad Productiva Santa María – Cía. Minera Poderosa S.A.				
Plano:	Plano de Ubicación	Fecha:	Diciembre – 2021	Escala: GRÁFICA
Departamento:	La Libertad	Formato:	A4	
Provincia:	Pataz	Districto:	Pataz	

ANEXO 3. Mapa Geológico – Provincia de Pataz



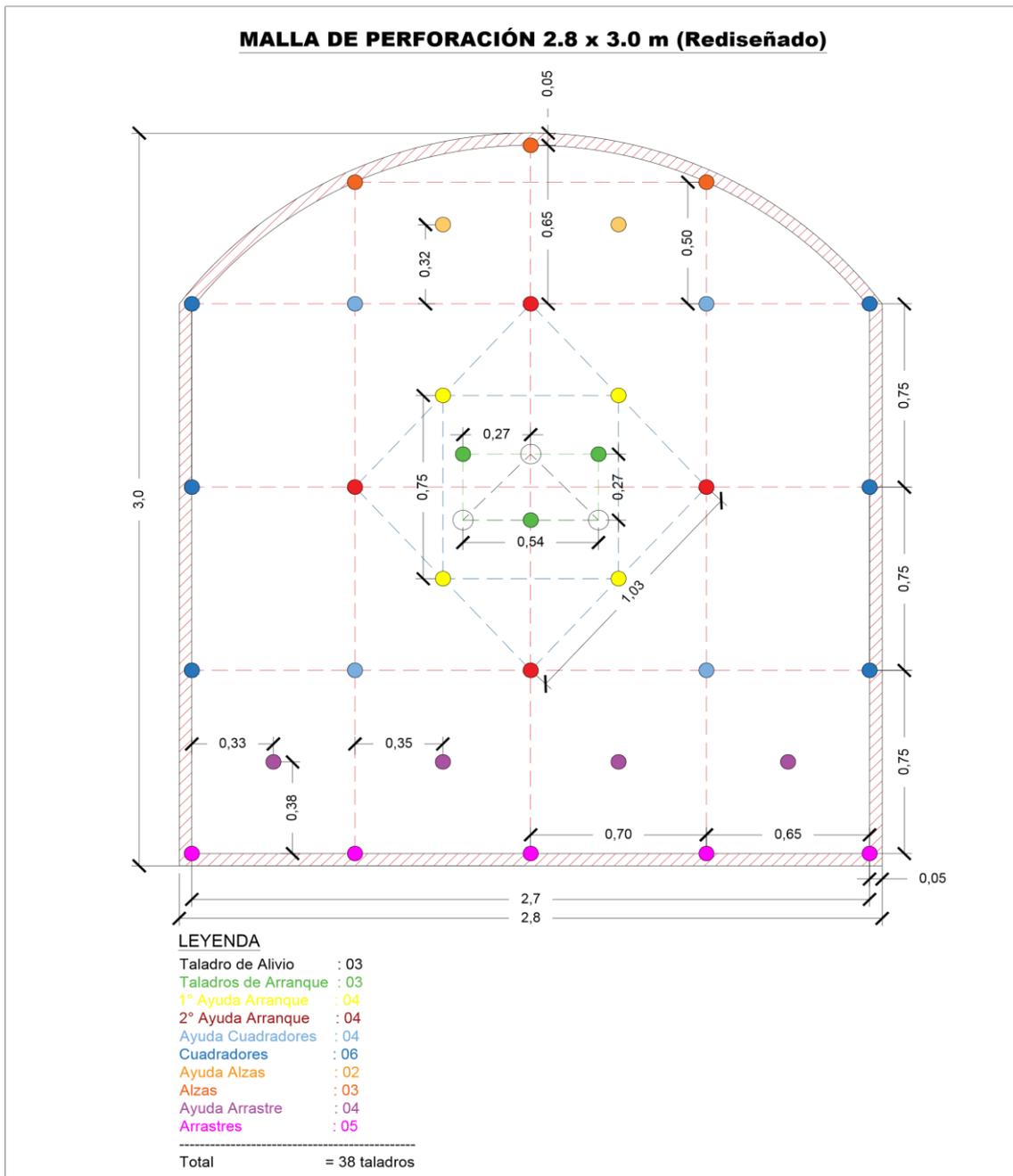


ANEXO 4. Diseño de Malla de Perforación Anterior



	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS		
	Empresa: Unidad Productiva Santa María - CIA. Minera Poderosa S.A.		
	Plano: Malla de Perforación Anterior	Fecha: Abril - 2021	Codigo:
	Departamento: La Libertad	Formato: A4	P-3
Provincia: Pataz Distrito: Pataz	Escala: 1:20		

ANEXO 5. Malla de Perforación Rediseñado Actual



	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO			P-4
	FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS			
	Empresa: Unidad Productiva Santa María - CIA. Minera Poderosa S.A.			
	Plano: Malla de Perforación Rediseñado	Fecha: Abril - 2021		
Departamento: La Libertad	Formato: A4			
Provincia: Pataz	Distrito: Pataz	Escala: 1:20		



ANEXO 6. Control de avance lineal antes del rediseño de malla

Nº	Fecha	Avance lineal (Metros)
1	Lunes 05 abril 2021	1,32
2	Martes 06 abril 2021	1,31
3	Miércoles 07 abril 2021	1,33
4	Jueves 08 abril 2021	1,32
5	Viernes 09 abril 2021	1,33
6	Sábado 10 abril 2021	1,32
7	Lunes 12 abril 2021	1,35
8	Martes 13 abril 2021	1,33
9	Miércoles 14 abril 2021	1,32
10	Jueves 15 abril 2021	1,34
11	Viernes 16 abril 2021	1,33
12	Sábado 17 abril 2021	1,32
13	Lunes 19 abril 2021	1,31
14	Martes 20 abril 2021	1,33
15	Miércoles 21 abril 2021	1,32
16	Jueves 22 abril 2021	1,33
17	Viernes 23 abril 2021	1,32
18	Sábado 24 abril 2021	1,33
19	Lunes 26 abril 2021	1,32
20	Martes 27 abril 2021	1,33
21	Miércoles 28 abril 2021	1,32
22	Jueves 29 abril 2021	1,34
23	Viernes 30 abril 2021	1,31
24	Sábado 01 mayo 2021	1,33
Promedio		1,33



ANEXO 7. Control de materiales de voladura anterior

Ítem	Mes (abril 2021)	CARMEX (unidades)	SEMEXSA 65%		MECHA RAPIDA (metros)
			(Cartuchos)	Kg. (x 0.08)	
1	Sábado 03	40	209	16,72	8,0
2	Lunes 05	40	215	17,20	7,5
3	Martes 06	40	211	16,88	8,5
4	Miércoles 07	40	213	17,04	9,0
5	Jueves 08	40	215	17,20	8,0
6	Viernes 09	40	214	17,12	8,0
7	Sábado 10	40	212	16,96	8,0
8	Lunes 12	40	215	17,20	7,0
9	Martes 13	40	217	17,36	8,5
10	Miércoles 14	40	213	17,04	9,0
11	Jueves 15	40	211	16,88	9,0
12	Viernes 16	40	213	17,04	7,0
13	Sábado 17	40	210	16,80	8,0
14	Lunes 19	40	212	16,96	7,5
15	Martes 20	40	210	16,80	7,5
16	Miércoles	40	212	16,96	8,0
17	Jueves 22	40	213	17,04	8,0
18	Viernes 23	40	214	17,12	7,5
19	Sábado 24	40	215	17,20	7,0
20	Lunes 26	40	213	17,04	7,5
21	Martes 27	40	214	17,12	8,0
22	Miércoles	40	215	17,20	8,0
23	Jueves 29	40	213	17,04	8,5
24	Viernes 30	40	213	17,04	9,0
TOTAL		960,0	5112,0	408,96	192,0

ANEXO 8. Tabla de consumo de explosivos/disparo de la voladura anterior

TIPO DE ROCA	I - II	
RMR	60 - 90	5 pies
CALIDAD	DURA	1,50 m
PESO ESPECIFICO	2,7 Tm/m ³	1,33 m
DIAMETRO DEL TALADROS	38 mm	11,17 m ³
		30,72 Tm

DISTRIBUCIÓN DE TALADROS (sección 2,80 x 3,0 m)	DISTRIBUCIÓN DE CARGA POR TALADRO				Peso total (kg)	
	N° Taladros Perforados	N° Taladros Cargados	N° Cartuchos/Taladro.	N° Cartuchos SEMEXSA 65%		Peso por Cartucho (kg)
Arranque	5	4	7	28	0,08	2,24
1ª Ayuda arranque	4	4	7	28	0,08	2,24
2ª Ayuda arranque	4	4	6	24	0,08	1,92
Cuadradores	8	8	5	40	0,08	3,20
Ayuda cuadradores	4	4	5	20	0,08	1,60
Alzas	4	4	5	20	0,08	1,60
Ayuda alzas	3	3	4	12	0,08	0,96
Arrastre	5	5	5	25	0,08	2,00
Ayuda arrastre	4	4	4	16	0,08	1,28
Total	41	40		213		17,04

ACCESORIOS	
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Unidades 40
MECHA RAPIDA	Metros 8

SEMEXSA 65%	17,04	Kg/disparo
FACTOR DE CARGA	1,52	Kg/m ³
FACTOR DE POTENCIA	0,55	Kg/Tm
FACTOR DE CARGA LINEAL	12,81	Kg/ml

PODEROSA

ANEXO 9. Reporte de consumo de explosivos/mes de la voladura anterior

MES	Abril	RESULTADO TOTAL GUARDIA "A"	
GUARDIA	"A"	LONG. BARRENO	1,52 m (5 pies)
TOTAL, GUARDIAS/MES	24	AVANCE TOTAL ESTIMADO (95%)	34,66 m
GALERÍA	San Fernando	AVANCE TOTAL REAL	33,14 m
CLASIFICACIÓN	Confirmación/acceso	VOLUMEN TOTAL ROTO	268,08 m ³
TIPO DE LABOR	Convencional	TONELADAS TOTALES ROTAS	737,28 Tm

COMPRA DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS PARA GUARDIA "A" – GALERIA SAN FERNANDO							
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO	CAJAS	CANTIDAD TOTAL	TOTAL, UTILIZADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
1	CARMEX® 2,10 m (7 pies)	(Caja x 300 Unidades)	04	1200	960	0,69	662,4
2	MECHA RAPIDA (Z – 18)	(Caja 10 rollos x 150 metros)	01	1500	192	0,43	82,56
3	SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	(Caja x 308 Cartuchos)	20	6160	5112	1,06	5418,72
						TOTAL	6163,68
						I.G.V. 18%	1109,46
						US\$	7273,14

CONSUMO ACCESORIOS, (MES ABRIL)	
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Unidades 960
MECHA RAPIDA (Z – 18)	Metros 192
SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	Cartuchos 5112
TOTAL, TALADROS PERFORADOS	Talaros 984
TOTAL, TALADROS CARGADOS	Taladros 960
SEMEXSA 65%	Kg/mes 408,96





ANEXO 10. Control de avance lineal después de rediseño de malla

Nº	Fecha	Avance lineal (metros)
1	Martes 1 de junio 2021	1,41
2	Miércoles 2 de junio 2021	1,43
3	Jueves 3 de junio 2021	1,39
4	Viernes 4 de junio 2021	1,41
5	Sábado 5 de junio 2021	1,42
6	Lunes 7 de junio 2021	1,39
7	Martes 8 de junio 2021	1,40
8	Miércoles 9 de junio 2021	1,39
9	Jueves 10 de junio 2021	1,43
10	Viernes 11 de junio 2021	1,41
11	Sábado 12 de junio 2021	1,41
12	Lunes 14 de junio 2021	1,39
13	Martes 15 de junio 2021	1,41
14	Miércoles 16 de junio 2021	1,43
15	Jueves 17 de junio 2021	1,42
16	Viernes 18 de junio 2021	1,39
17	Sábado 19 de junio 2021	1,41
18	Lunes 21 de junio 2021	1,40
19	Martes 22 de junio 2021	1,39
20	Miércoles 23 de junio 2021	1,41
21	Jueves 24 de junio 2021	1,43
22	Viernes 25 de junio 2021	1,42
23	Sábado 26 de junio 2021	1,44
24	Lunes 28 de junio 2021	1,42
Promedio		1,41



ANEXO 11. Control de materiales de voladura después de rediseño de malla

Ítem	Fecha (junio 2021)	CARMEX (unidades)	SEMEXSA 65%		MECHA RAPIDA (metros)
			(Cartuchos)	Kg. (x0.08)	
1	Martes 01	35	187	14,96	7,0
2	Miércoles 02	35	190	15,20	7,5
3	Jueves 03	35	191	15,28	8,0
4	Viernes 04	35	189	15,12	7,0
5	Sábado 05	35	186	14,88	7,5
6	Lunes 07	35	189	15,12	8,0
7	Martes 08	35	185	14,80	8,5
8	Miércoles 09	35	188	15,04	8,0
9	Jueves 10	35	189	15,12	7,5
10	Viernes 11	35	190	15,20	7,0
11	Sábado 12	35	191	15,28	7,0
12	Lunes 14	35	190	15,20	7,0
13	Martes 15	35	188	15,04	7,5
14	Miércoles 16	35	189	15,12	8,0
15	Jueves 17	35	189	15,12	7,5
16	Viernes 18	35	188	15,04	7,5
17	Sábado 19	35	190	15,20	8,0
18	Lunes 21	35	191	15,28	7,5
19	Martes 22	35	192	15,36	7,5
20	Miércoles 23	35	188	15,04	8,0
21	Jueves 24	35	189	15,12	7,0
22	Viernes 25	35	189	15,12	7,0
23	Sábado 26	35	187	14,96	7,0
24	Lunes 28	35	191	15,28	7,5
TOTAL		840,0	4536,0	362,88	180,0

ANEXO 12. Tabla de consumo de explosivos/disparo después del rediseño de malla

TIPO DE ROCA	I - II	5 pies
RMR	60 - 90	1,52 m
CALIDAD	DURA	1,41 m
PESO ESPECIFICO	2,7 Tm/m ³	11,84 m ³
DIAMETRO DEL TALADROS	38 mm	32,56 Tm

DISTRIBUCIÓN DE TALADROS (sección 2,80 x 3,0 m)	DISTRIBUCIÓN DE CARGA POR TALADRO					Peso total (kg)
	N° Taladros Perforados	N° Taladros Cargados	N° Cartuchos/Taladro.	N° Cartuchos SEMEXSA 65%	Peso por Cartucho (kg)	
Arranque	6	3	7	21	0,08	1,68
1ª Ayuda arranque	4	4	6	24	0,08	1,92
2ª Ayuda arranque	4	4	5	20	0,08	1,60
Ayuda cuadradores	4	4	5	20	0,08	1,60
Cuadradores	6	6	6	36	0,08	2,88
Ayuda alzas	2	2	4	8	0,08	0,64
Alzas	3	3	5	15	0,08	1,20
Ayuda arrastre	4	4	5	20	0,08	1,60
Arrastre	5	5	5	25	0,08	2,00
Total	38	35		189		15,12

ACCESORIOS	
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Unidades 35
MECHA RAPIDA	Metros 7,5

SEMEXSA 65%	15,12	Kg/disparo
FACTOR DE CARGA	1,27	Kg/m ³
FACTOR DE POTENCIA	0,46	Kg/Tm
FACTOR DE CARGA LINEAL	10,72	Kg/ml

ANEXO 13. Tabla de consumo de explosivos/mes después del rediseño de malla

MES	Junio	RESULTADO TOTAL GUARDIA "A"
GUARDIA	"A"	LONG. BARRENO 1,52 m (5 pies)
TOTAL, GUARDIAS/MES	24	AVANCE TOTAL ESTIMADO (95%) 34,66 m
GALERÍA	San Fernando	AVANCE TOTAL REAL 33,85 m
CLASIFICACIÓN	Confirmación/acceso	VOLUMEN TOTAL ROTO 284,16 m ³
TIPO DE LABOR	Convencional	TONELADAS TOTALES ROTAS 781,44 Tm

COMPRA DE EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS PARA GUARDIA "A" – GALERIA SAN FERNANDO							
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	TIPO	CAJAS	CANTIDAD TOTAL	TOTAL, UTILIZADO	PRECIO UNITARIO (US\$)	COSTO TOTAL (US\$)
1	CARMEX® 2,10 m (7 pies)	(Caja x 300 Unidades)	03	900	840	0,69	579,6
2	MECHA RAPIDA (Z – 18)	(Caja 10 rollos x 150 metros)	01	1500	180	0,43	77,40
3	SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	(Caja x 308 Cartuchos)	15	4620	4536	1,06	4808,16
						TOTAL	5435,16
						I.G.V. 18%	983,73
						US\$	6448,89

CONSUMO ACCESORIOS, (MES ABRIL)	
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Unidades 840
MECHA RAPIDA (Z – 18)	Metros 180
SEMEXSA 65% (7/8 x 7 pulgadas)	Cartuchos 4536
TOTAL, TALADROS PERFORADOS	Talaros 912
TOTAL, TALADROS CARGADOS	Taladros 840
SEMEXSA 65%	Kg/mes 362,88

ANEXO 14. Características técnicas del CARMEX



CARACTERISTICAS TECNICAS DEL CARMEX®

FULMINANTE COMÚN		MECHA DE SEGURIDAD		EL CONECTOR		BLOCK DE SUJECIÓN	
Diámetro del fulminante (mm)	6,3	Color de recubrimiento plástico	Verde	Diámetro del conector (mm)	6,3	Diámetro del block de sujeción (mm)	10 ± 0,3
Longitud del fulminante (mm)	45	Núcleo de pólvora (gr/m)	6,1 ± 0,7	Longitud del conector (mm)	45	Longitud total (mm)	14 ± 0,2
Resistencia a la humedad relativa del 100% por 24 horas	Detona	Tiempo de combustión (s/m)	160 ± 10	Ancho de la ranura (mm)	2,3 ± 0,3	Color del block de sujeción	Anaranjado
Resistencia al impacto 2kg/1m	No detona	Diámetro externo (mm)	5,2 ± 0,2	Carga de material pirotécnico (g)	0,5 ± 0,1	Material	Plástico
Sensibilidad a la chispa de la mecha de seguridad	Buena			Altura de carga (mm)	11,0 ± 3,0		
PRESENTACIÓN							
Embalaje 1.1B	Material de caja	Capacidad de caja (pza.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)		
CARMEX® 2,10 m (7 pies)	Cartón	300	15,6	17,5	44,5 x 38,0 x 39,0		
CARMEX® 2,40 m (8 pies)	Cartón	300	17,7	19,5	44,5 x 38,0 x 39,0		
CARMEX® 2,70 m (9 pies)	Cartón	250	16,3	18,2	44,5 x 38,0 x 39,0		



Clase: 1
División: 1.1B
N° ONU: 0360



Clase: 1
División: 1.4S
N° ONU: 0500

ANEXO 15. Características técnicas del SEMEXSA

Especificaciones técnicas	Unidades	Semexsa 45	Semexsa 65	Semexsa 80
Densidad	g/cm ³	1,08 ± 3%	1,12 ± 3%	1,18 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3 800 ± 200	4 200 ± 200	4 500 ± 200
Presión de detonación	kbar	87	94	125
Energía**	KJ/kg	3 338	3 433	3 747
RWS**	%	89	92	99
RBS**	%	120	127	147
Volumen de gases	l/kg	1 016	1 015	989
Resistencia al agua	Horas	Buena	Muy buena	Excelente
Categoría de humos	Categoría	1 era.	1 era.	1 era.

* Sin confinar en tubo de hojalata de 30 mm de diámetro.

** Calculadas con programa de simulación TERMODET a condiciones ideales de 1 atm.

Peso neto	25 kg
Peso bruto	26,3 kg
Dimensiones de caja	Ext. 35 x 45 x 28 cm
Material	Caja de cartón corrugado
Producto	Pulgadas
SEMEXSA 45	Unidades/Caja
1 1/8	12
SEMEXSA 65	Gramos/unidad
1 1/2	122
7/8	68
1 1/8	308
	164
	205
	368
	81
	152

ANEXO 16. Cartilla Geomecánica, Cía. Minera Poderosa S.A.

TIPOS DE SOSTENIMIENTO						
PARÁMETROS GEOMECÁNICOS			LABORES PERMANENTES		LABORES TEMPORALES	
CALIDAD	GSI	RMR	TAS	PH	Split	SH
A	LF/BLF/R	81-100	3 años / 1 año	PH Ocasional o Split	SH Ocasional	Puntal Ocasional o Split
B	F/B, F/R	61-80	6 MESES / 3 MESES	PH Ocasional o Split	SH Ocasional	Puntal de madera e: 1.3 en dirección al minado
C	F/P, MF/R	41-60	1 MES / 15 DIAS	PH Sistemático	SH Sistemático	Puntales de madera e: 1.3 en dirección al minado
D	MF/P, MF/MP, F/P	21-40	1 SEM / 1 DIA	Electroalabada o SH 2°	Electroalabada o SH 2°	Cuadros de Madera e: 1.5 en dirección al minado
E	IF/MP	<20	1 HR / 0 HR	Cuadros de Madera 1.3 x 1.3 m o Círculos metálicos e: 1.3 m	Cuadros de Madera 1.3 x 1.3 m o Círculos metálicos e: 1.3 m	Cuadros de madera e: 1.3 en dirección al minado

ELECCIÓN DEL TIPO DE SOSTENIMIENTO									
Labores Mineras (RA, CR, ESCM, GL, IN, CH, TJ, SN) 1.5 a 4.0 m									
Sostenimiento									
Tipo	Duración	Abreviatura	A	B	C	D	E	PETS	
			(81-100)	(61-80)	(41-60)	(21-40)	(1-20)		
Sin sostenimiento		SS	Sí						
Pernos puntales		PH / FSS		Sí				1.02	
Pernos sistémicos		PH			1.2m x 1.6 m			1.02	
Puntales	3 a 8 meses	PUNT.			1.3m x 1.3m				
Shotcrete 2°	>15 años	SH 2°			Sí			4	
Pernos sistémicos + malla electroalabada	2 a 3 años	PH+M			1.2m x 1.6 m			1.02	
Pernos sistémicos + malla galvanizada	>10 años	PHH+MG			1.2m x 1.6 m			1.02	
Pernos sistémicos + shotcrete	>15 años	PHSH			1.2m x 1.6 m			1.02 y 4	
Pernos sistémicos + malla + shotcrete 2°	>15 años	PHH+SH			1.2m x 1.6 m			1.02 y 4	
Cuadros de madera	3 a 8 meses	CDRO			1.2 m x 1.6 m	1.2 m x 1.3 m		3	
Shotcrete 4°	>15 años	SH 4°				Sí		4	
Círculos	>15 años	CMB				1.3 m		3	
Shotcrete + Círculos	>15 años	SH + CMB				1.3 m		4 y 3	

ELECCIÓN DEL TIPO DE EXPLOSIVO	
TIPO DE ROCA	AVANCE
U/P / U/R	AMID
F/P / F/R	EMULSION 65%
M/P / M/R	EMULSION 65%
M/P / M/R / D/P	EMULSION 65%
M/P / M/R / D/P	EMULSION 65%

RESTRICCIONES PARA REALIZAR TRABAJOS SIN REALIZAR UN IPEC:

- 1.- OBSERVAR SI EXISTEN FACTORES INFLUYENTES:
- 2.- OBSERVAR SI EXISTEN FACTORES INFLUYENTES:
- 3.- SI HAY FACTORES INFLUYENTES, CERCANIAS O INTERSECCIONES.
- 4.- SI LA DECISIÓN ES COMPLEJA, COMUNICAR AL JEFE INMEDIATO Y POSTERIORMENTE AL ÁREA DE GEOMECÁNICA.
- 5.- EVENTOS DE RELAJAMIENTO, MANTENER EL SOSTENIMIENTO AL TOPE DE LA LABOR.

- AGUA
- PRESENCIA DE FALLAS
- DE POTENCIA CONSIDERABLE FORMACIÓN DE CUÑAS, RELLENOS SUAVES
- ORIENTACIÓN DE DISCONTINUIDADES
- LABORES CONTIGUAS, CERCANIAS O INTERSECCIONES

GSI (MODIFICADO) Rev. 01				
Índice de Resistencia Geológica				
Condición Superficial - Golpes de picota				
LABORES MINERAS (TEMPORALES Y PERMANENTE)	Se Rompe	Se Rompe	Se Indenta	Se Indenta
	Con 3 o mas Golpes de Picota	Con 1 o 2 Golpes de Picota	Superficialmente con golpes de Picota	Más de 5 mm.
LABORES PERMANENTES (RA, CR, ESCM, GL, IN, CH)	B	R	P	MP
	Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre
LABORES TEMPORALES (TJ, SN)	2 a 6 LF	LF/B A	LF/R A	
	Levemente Fracturada	3 AÑOS	1 AÑO	
Sección 2.5 a 4.0m.	6 a 12 F	F/B B	F/R B	
	Moderadamente Fracturada	6 Meses	3 Meses	
Condición Estructural - Fracturas/m²	12 a 20 MF	MF/R C	MF/P C	
	Muy Fracturada	15 Dias	1 Semana	
>20 IF	Intensamente Fracturada			

ANEXO 17. Perforación en la galería San Fernando



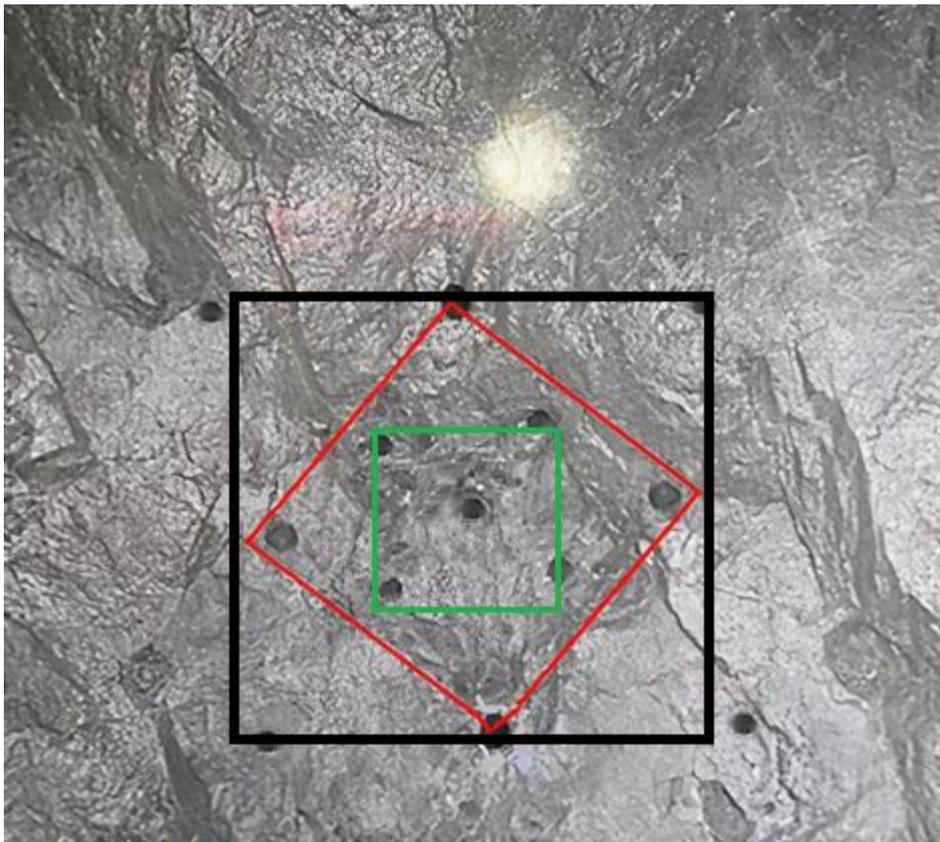
ANEXO 18. Desatado de rocas en la galería San Fernando



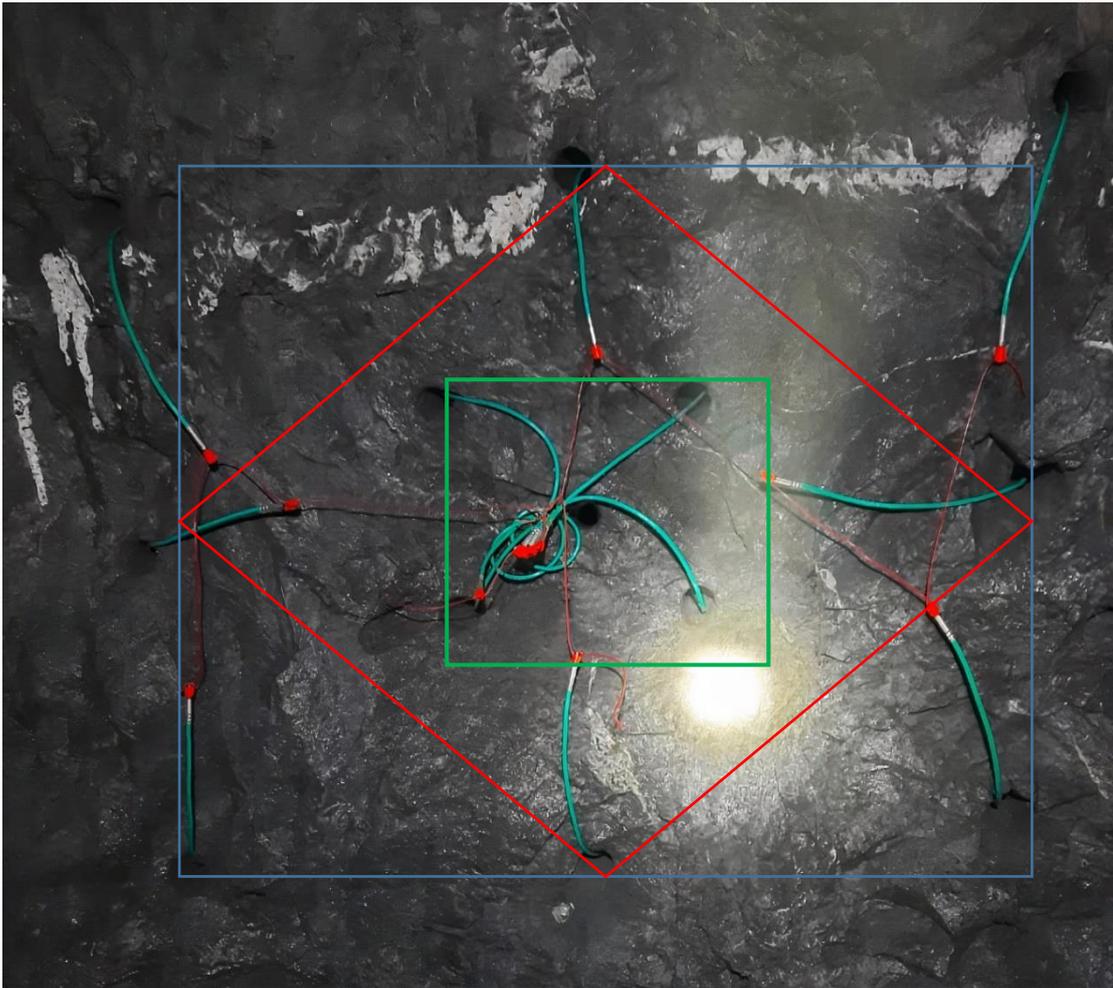
ANEXO 19. Defectos en la malla de perforación anterior (burden, espaciamento)



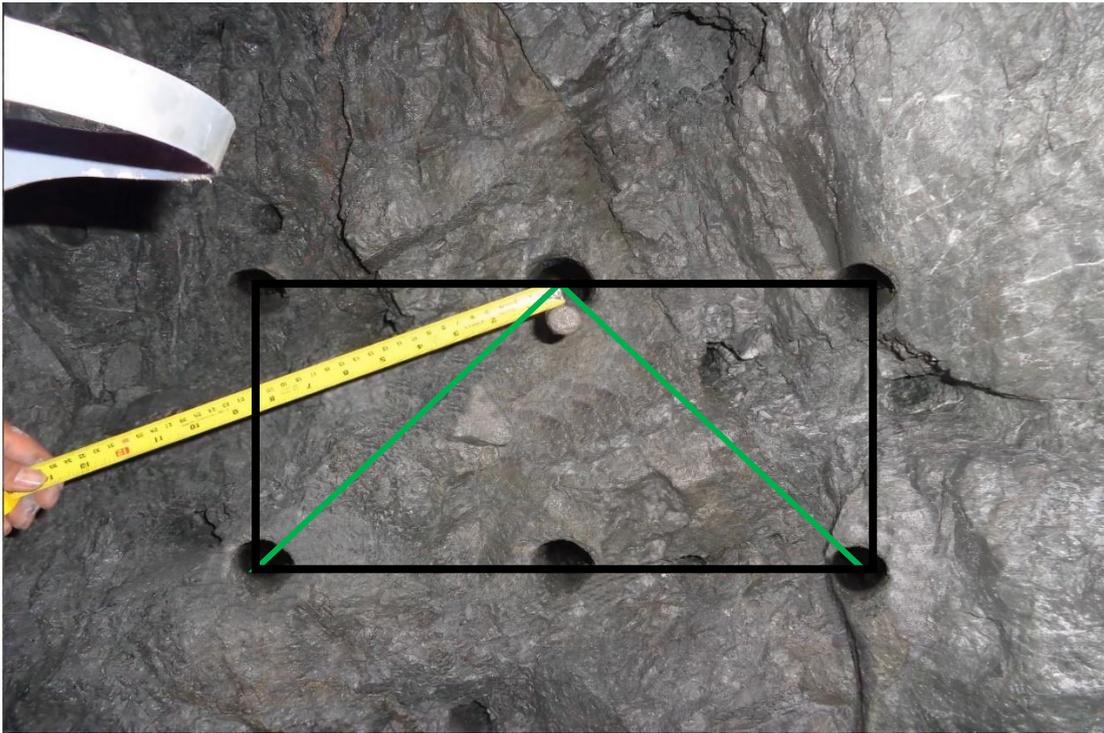
ANEXO 20. Defectos en la perforación del arranque anterior



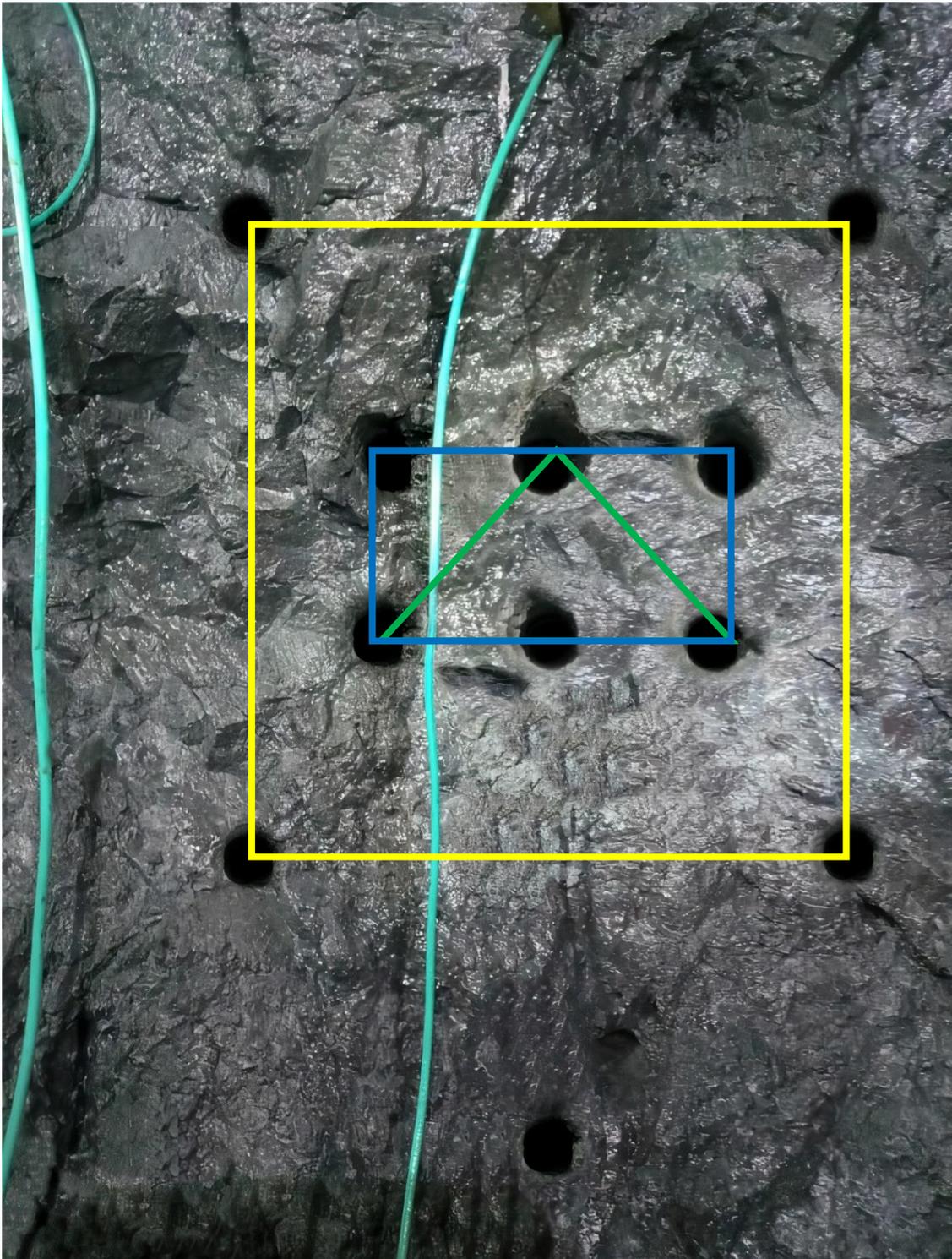
ANEXO 21. Defectos en el arranque anterior



ANEXO 22. Perforación del arranque rediseñado



ANEXO 23. Perforación del arranque rediseñado

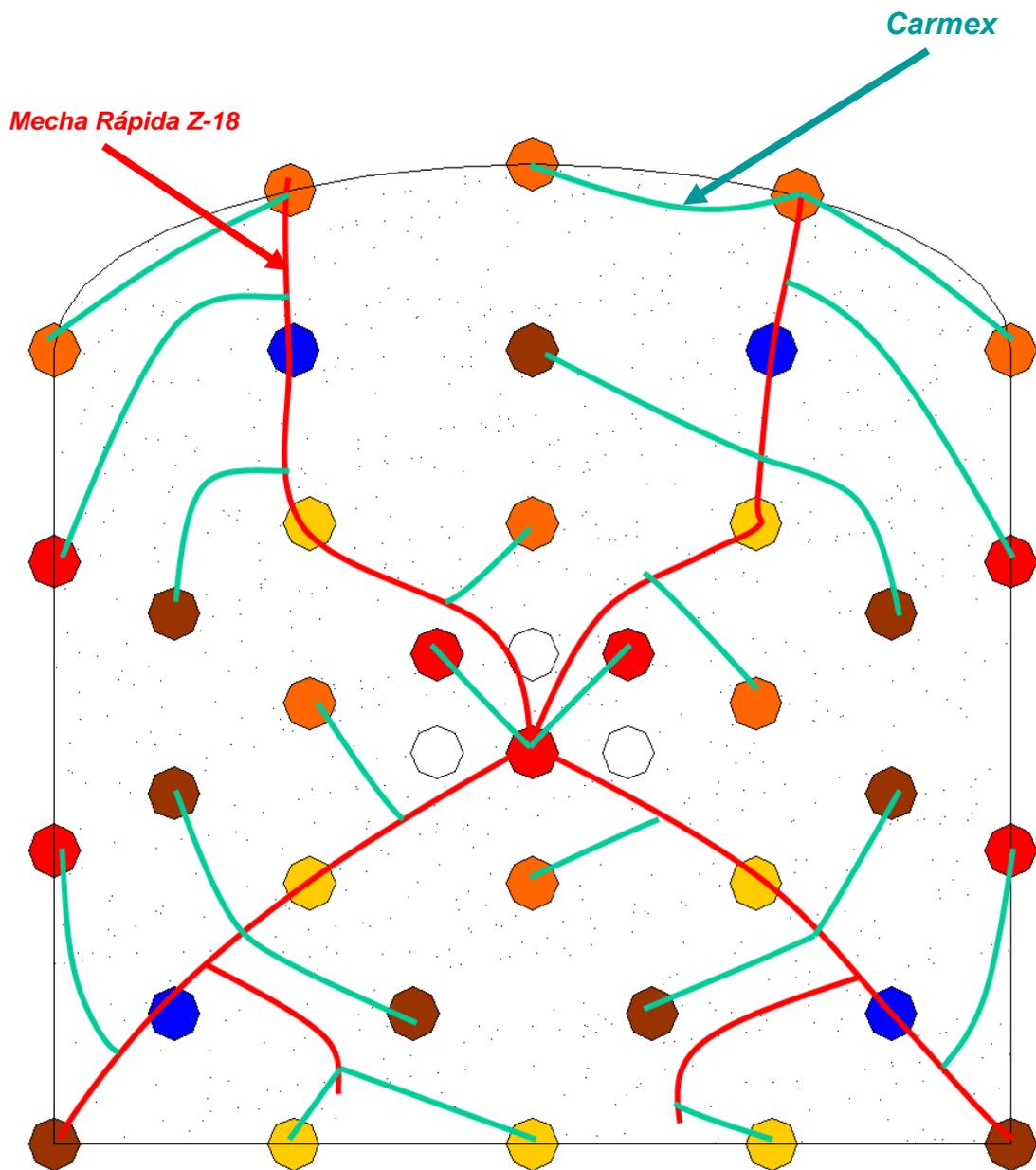




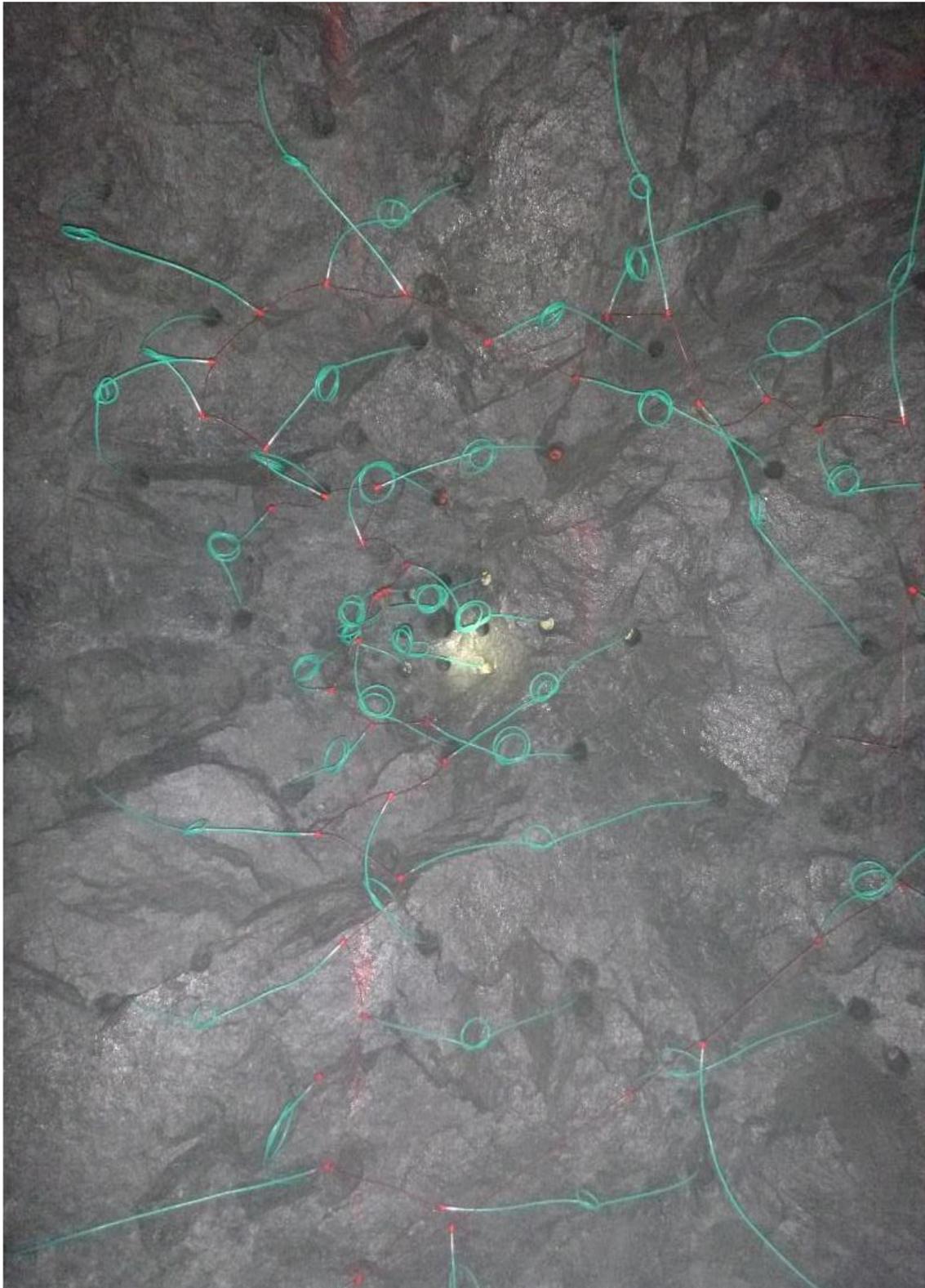
ANEXO 24. Control del paralelismo en la voladura actual



ANEXO 25. Bosquejo de amarre a la línea troncal de la voladura actual



ANEXO 26. Amarre del Carmex con la mecha rápida



ANEXO 27. Granulometría de la voladura anterior



ANEXO 28. Granulometría de la voladura con la nueva malla





ANEXO 29. Galería San Fernando





ANEXO 30. Interior de la Galería San Fernando



ANEXO 31. Frente de la galería San Fernando

