



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**INCREMENTO DE LA EFICIENCIA EN PERFORACIÓN Y
VOLADURA APLICANDO EL NUEVO DISEÑO DE MALLA EN
EL FRENTE DE LA GALERÍA 1 850W, EN LA EMPRESA
MINERA ACHANIZO E.I.R.L. - AREQUIPA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. BRUNO JAVIER YANA CALSIN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

Con mucho amor a mis queridos padres Julián L. Yana Roque e Isidora E. Calsin Quispe por su constante apoyo incondicional y desmedido durante el proceso de mi formación profesional y el transcurso de mi vida existencial, respeto y admiración hacia ustedes.

A mi hermano Flavio E. Yana Calsin y a toda mi familia que estuvieron cerca de mí, por su aliento y constante apoyo moral para culminar satisfactoriamente mi carrera profesional y la presente investigación, son mi mayor motivo para seguir esforzándome en mi desarrollo profesional.

Bruno Javier.



AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a Dios por darme las fuerzas, vida y salud para culminar satisfactoriamente mi carrera universitaria y así lograr uno de mis objetivos más deseados de ser Ingeniero de Minas.

A mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme acogido durante todos los años durante mi formación académica profesional y darme la oportunidad de ser un profesional de éxito.

A la escuela profesional de Ingeniería de Minas, a los docentes, personal administrativo y a todas sus autoridades por haberme compartido sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

A mi asesor Ing. Esteban Marín Paucara por ayudarme a concluir mi tesis.

A mis padres, a mi hermano y a toda mi familia que siempre estuvieron para mí, alentándome y apoyándome a seguir adelante y no rendirme, gracias a todos ustedes.

También agradecer a todo el personal que labora en la empresa minera Achanizo E.I.R.L., ingenieros, administrativos, y personal en general y en especial al Ing. Freddy Neyra Rojas Gerente General de minera Achanizo E.I.R.L. quien me dio la oportunidad de trabajar y realizar la presente investigación.

Expresar mis agradecimientos a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron en el desarrollo de la presente tesis.

Bruno Javier.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 15

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 16

1.2.1. Problema general..... 16

1.2.2. Problemas específicos 16

1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS..... 17

1.3.1. Hipótesis general 17

1.3.2. Hipótesis específicos 17

1.4. JUSTIFICACIÓN..... 17

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 19

1.5.1. Objetivo general 19

1.5.2. Objetivos específicos..... 19



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.2. MARCO TEÓRICO	26
2.2.1. Definición de incrementar	26
2.2.2. Perforación y voladura de rocas	26
2.2.3. Definición de eficiencia	27
2.2.4. Estimación de la eficiencia.....	27
2.2.5. Definición de perforación optima	27
2.2.6. Definición de voladura optima.....	28
2.2.7. Factores a considerar para realizar el diseño de malla de perforación.....	29
2.2.8. Selección del equipo y accesorios de perforación.....	29
2.2.9. Métodos de perforación.....	31
2.2.10. Condiciones de perforación.....	33
2.2.11. Avance Lineal	34
2.2.12. Acciones al realizar la perforación.....	38
2.2.13. Distribución de los taladros.....	39
2.2.14. Selección del diseño de arranque	41
2.2.15. Características de los taladros de destroce	45
2.2.16. Factores a considerar para la voladura	46
2.2.17. Diseño de malla de perforación y cálculo de carga.....	58
2.2.18. Mecanismos de rotura de la roca.....	66
2.3. GEOMECANICA	68
2.4. DEFINICIONES CONCEPTUALES	70



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	73
3.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
3.3. ACCESO A LA MINA	73
3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN	74
3.5. DISEÑO METODOLÓGICO	75
3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.6.1. Población.....	76
3.6.2. Muestra.....	76
3.6.3. Muestreo.....	76
3.6.4. Tamaño de muestra	76
3.7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	77
3.8. VARIABLES	78
3.8.1. Variable independiente.....	78
3.8.2. Variable dependiente.....	78
3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	78
3.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS	79
3.11. TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE DATOS	79
3.11.1. Técnicas.....	79
3.11.2. Instrumentos	80
3.11.3. Materiales	80
3.12. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	81
3.12.1. Trabajo en campo	81
3.12.2. Trabajo en oficina.....	81



3.13. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS..... 81

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS 83

4.1.1. Resultado para el primer objetivo específico 83

4.1.2 Elaboración del nuevo diseño de malla de perforación..... 97

4.1.3. Resultado para el segundo objetivo específico 110

4.1.4. Resultado para el objetivo general 121

V. CONCLUSIONES..... 131

VI. RECOMENDACIONES 132

VII. REFERENCIAS..... 133

ANEXOS..... 138

ÁREA: Ingeniería de minas.

TEMA: Desarrollo de labores mineras y otras excavaciones.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de julio del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características de la perforadora neumática YT.	30
Figura 2. Hueco de alivio de diámetro muy pequeño.	35
Figura 3. Desviación de paralelismo	36
Figura 4. Espaciamientos irregulares entre taladros.	36
Figura 5. Irregularidades de los taladros.	37
Figura 6. Intersección de taladros.	38
Figura 7. Acciones básicas de perforación rotopercutiva.	39
Figura 8. Denominación de los taladros.	41
Figura 9. Formación de la cavidad de un frente.	42
Figura 10. Ubicación del arranque.	43
Figura 11. Corte en paralelo.	44
Figura 12. Esquema geométrico de arranque de 4 secciones.	45
Figura 13. Distribución y salidas de los taladros.	58
Figura 14. Diseño de malla anterior.	87
Figura 15. Diseño de arranque calculado.	103
Figura 17. Nuevo diseño de malla por método Holmberg (AutoCAD).	107
Figura 16. Nuevo diseño de malla perforación.	107
Figura 18. Diferencia de resultados de N° de taladros y avance por disparo (m).	123
Figura 19. Diferencia de resultados de voladura.	125
Figura 20. Diferencia de resultados de costos de perforación y voladura.	128



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de la dinamita famosa 65 % y 80 %.	57
Tabla 2. Relación de la dureza de la roca con respecto a la distancia entre taladros	61
Tabla 3. Relación de la dureza de la roca con respecto al coeficiente de roca	61
Tabla 4. Cálculo de burden y sección	62
Tabla 5. Constante del tipo de roca “K”	66
Tabla 6. Accesibilidad a la mina.	74
Tabla 7. Operacionalización de variables	78
Tabla 8. Reporte de avance por guardia anterior	84
Tabla 9. Distribución de taladros anterior.	86
Tabla 10. Resumen de control de tiempo de perforación anterior	88
Tabla 11. Resumen de parámetros de perforación anterior	89
Tabla 12. Reporte de consumo de explosivo famosa semigelatina 65 %. anterior	89
Tabla 13. Parámetros de voladura anterior	93
Tabla 14. Costos de perforación y voladura anterior	93
Tabla 15. Resumen de los cálculos de burden y espaciamiento	102
Tabla 16. Distribución de taladros con nuevo diseño de malla	108
Tabla 17. Tiempos de perforación con nuevo diseño de malla.	109
Tabla 18. Resumen de parámetros de perforación.	110
Tabla 19. Nuevo reporte de consumo de explosivo famosa 65%.	113
Tabla 20. Resumen de los parámetros con el nuevo diseño de malla.	115
Tabla 21. Nuevo reporte de avances por guardia.	116
Tabla 22. Nuevo reporte de costos de perforación y voladura.	117
Tabla 23. Resultados comparativos de voladura anterior.	123
Tabla 24. Nuevos resultados comparativos de voladura.	124



Tabla 25. Comparación de resultados de perforación y voladura..... 126

Tabla 26. Resumen de diferencia de costos de perforación y voladura..... 128



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano del proyecto para la ejecución de la Galería 1850W.	139
Anexo 2. Plano de cubicación de la Veta María.....	140
Anexo 3. Columna estratigráfica.	141
Anexo 4. Sobre roturas en las alzas con la malla anterior.....	142
Anexo 5. Control de avances por disparo con la malla anterior.....	143
Anexo 6. Control de reportes de avances con nuevo diseño de malla.....	144
Anexo 7. Diseño de malla anterior.	145
Anexo 8. Diseño de la nueva malla de perforación por el método de Holmberg.....	146



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

B	: burden.
E	: espaciamiento.
S	: área.
P	: perímetro.
b	: base.
h	: altura.
mts	: metros.
Fc	: factor carga.
Fcl	: factor carga lineal.
Fp	: factor potencia.
V	: volumen.
Tm	: toneladas métricas.
%	: Porcentaje.
ρ	: densidad.
\emptyset	: diámetro.
W	: Oeste.
RQD	: índice de calidad de roca.
R.M.R	: Rock mass rating.
GSI	: índice de la resistencia geológica.
M.S.N.M	: metros sobre el nivel de mar.
MINACH	: Minera Achanizo.
E.I.R.L.	: Empresa Individual de Responsabilidad Limitada.



RESUMEN

La investigación se enfoca en la ejecución del frente de la galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L., realizando las operaciones se encontró deficiencias de perforación y voladura, efectuar una malla de perforación de 28 taladros en una sección de 1,8m x 2,1m y obtener una avance promedio de 0,95m hacia que la eficiencia de perforación y voladura no sea lo esperado por la empresa. Es por eso que el objetivo esencial de la presente investigación es incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1 850W, de la minera Achanizo E.I.R.L. - Arequipa, la metodología para esta investigación será de enfoque cuantitativo, donde se iniciaron evaluando las operaciones unitarias de perforación y voladura anterior, analizándolos y posteriormente obtener el nuevo diseño de malla mediante el modelo de roger holmberg y así incrementar la eficiencia. Los resultados muestran que al realizar esta investigación se obtuvo resultados óptimos en el frente de la galería 1 850W, aplicando el nuevo diseño de malla reducimos de 28 a 26 taladros, y en consecuencia se incrementó la eficiencia en longitud efectiva de avance que paso a ser de 0,95m a 1,06m siendo la perforación más eficiente al anterior, en voladura con una adecuada cantidad y selección de explosivo se logró reducir de 104 a 89 cartuchos de explosivo logrando un incremento de eficiencia de voladura de 86,5% a 95,5%, haciendo una diferencia del 9% más eficiente al anterior, además se obtuvo una mejor estabilidad del frente y mejor dimensionamiento de la sección. Estos resultados positivos sirvieron como ejemplo para poder aplicarlos en otras labores de similares características en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

Palabras claves: Avance, eficiencia, incremento, malla de perforación y voladura.



ABSTRACT

The investigation focuses on the execution of the front of gallery 1 850W, in the mining company Achanizo E.I.R.L., carrying out the operations, drilling and blasting deficiencies were found, making a perforation mesh of 28 holes in a section of 1,8m x 2,1m and obtain an average advance of 0,95m so that the drilling and blasting efficiency is not what the company expected. That is why the fundamental objective of this research is to increase the efficiency in drilling and blasting by applying the new mesh design in the front of the 1 850W gallery, of the Achanizo E.I.R.L. - Arequipa, the methodology for this investigation will be of a quantitative approach, where they began by evaluating the previous drilling and blasting unit operations, analyzing them and later obtaining the new mesh design using the Roger Holmberg model and thus increasing efficiency. The results show that when carrying out this investigation, optimal results were obtained in the front of the 1 850W gallery, applying the new mesh design we reduced from 28 to 26 holes, and consequently the efficiency in effective length of advance was increased, which became from 0,95m to 1,06m, the drilling being more efficient than the previous one, in blasting with an adequate amount and selection of explosive it was possible to reduce from 104 to 89 explosive cartridges, achieving an increase in blasting efficiency from 86,5% to 95,5%, making a difference of 9% more efficient than the previous one, in addition, a better stability of the front and better dimensioning of the section were obtained. These positive results served as an example to be able to apply them in other tasks of similar characteristics in the Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

Keywords: Advance, efficiency, increase, drilling and blasting mesh.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Minera Achanizo E.I.R.L., se venía ejecutando el frente de la galería 1 850 W, el objetivo era avanzar 150 metros más horizontalmente en un etapa inicial con una sección de 1,8 m x 2,1 m, este frente es de gran importancia por tener una estructura mineralizada bien definida, ya que en su mayor parte de esta zona se había encontrado clavos mineralizados con leyes rentables, además es una zona intermedia. Lo cual se observa que en las evaluaciones de los primeros 20 metros lineales la perforación y voladura no se estaban cumpliendo con lo esperado, obteniendo un avance promedio de 0,95 m/disp., esto afectaba al área de operaciones.

Una inadecuada malla de perforación ocasiona retrasos en el ciclo de minado, esa era usada por los maestros perforistas gracias a su experiencia lo cual era inadecuado, realizar la voladura utilizando 28 taladros perforados en un tiempo de 1h:26min:46seg ocasionaban gastos excesivos en acero, bajo rendimiento en control de tiempos, además se realizaba el uso excesivo de explosivos de 8.71 kg/m, y sobre todo no se cumplían con el avance programado, teniendo así una eficiencia de perforación y voladura por debajo de esperado.

Estos procedimientos empíricos de voladura en esta clase de yacimientos hacen que se retrase el ciclo de perforación y voladura y por ende hacen que no se pueda cumplir con el avance esperado.



En consecuencia para mejorar esta situación se da alternativas de solución de perforación y voladura a fin de incrementar la eficiencia y obtener resultados óptimos y/o superiores en comparación a lo anterior.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo se puede incrementar la eficiencia de perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el incremento de la eficiencia en perforación aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa?
- ¿Cuál es el incremento de la eficiencia en voladura realizando un adecuado uso de explosivos en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa?



1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPOTESIS

1.3.1. Hipótesis general

Al aplicar el nuevo diseño de malla se incrementa la eficiencia de perforación y voladura en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

1.3.2. Hipótesis específicos

- Aplicando el nuevo diseño de malla se incrementa la eficiencia en perforación en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.
- Realizar un adecuado uso de explosivos incrementa la eficiencia en voladura en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Generalmente en minería para tener una buena explotación y producción de la mina es necesario realizar una buena perforación y voladura, siendo esta la etapa más importante y primordial para realizar todo el ciclo de minado. La empresa minera Achanizo E.I.R.L. dedicada a la extracción y comercialización de oro, desea ampliar sus reservas de mineral, es por eso que la empresa se propone a ejecutar la galería 1850W que sobre yace sobre la veta maría, ya que la veta maría cuenta con la estructura mineralizada bien definida y también cuenta con antecedentes de haber tenido reservas de mineral con potencias de 0,50 m a 1.5 m, por lo tanto, es importante realizar esta galería 1850W, además se ubica en una zona intermedia, que es beneficioso para la



facilidad de extracción y la ventilación natural, es por eso que es de gran importancia ejecutar la galería 1850W y realizar su ejecución en el menor tiempo posible.

En la actualidad la empresa minera Achanizo E.I.R.L. viene desarrollando diferentes labores de exploración y explotación, lo cual hace que esta investigación sea muy importante para la empresa, este estudio se basa en incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla de perforación, y a la vez se reducirán costos de perforación y voladura, esta investigación será base primordial para ejecutar otros proyectos cercanos a esta galería y poder incrementar eficiencias en perforación y voladura obteniendo así más beneficios para la empresa.

Pero al encontrar problemas como: una inadecuada malla de perforación, que en consecuencia quedaban tiros cortados, soplados y además generaban sobreexcavacion en la parte de la alza en ciertos disparos, generaban resultados ineficientes así como: incumplimiento del avance diario, baja producción y elevados costos de perforación y voladura. Todos estos factores hacen que se retrasen las operaciones en el ciclo de minado en el frente de la galería 1850W, por lo cual analizando estos problemas nace la idea de incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando parámetros del modelo de roger holmberg, y así cumplir con el ciclo de minado, es por eso que es muy importante y se justifica plenamente el presente estudio de investigación, trayendo buenos beneficios económicos para la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.



1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

1.5.2. Objetivos específicos

- Incrementar la eficiencia en perforación aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.
- Incrementar la eficiencia en voladura realizando un adecuado uso de explosivos en el frente de la Galería 1 850W, en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Anchapuri (2021) mejoró el diseño de malla de perforación y distribuyó adecuadamente los taladros en el frente de la galería 819E, cuyos resultados obtenidos fueron la reducción de taladros de 30 taladros antes (3 taladros de alivios y 27 taladros cargados) a 25 taladros después (2 taladros de alivio y 23 taladros cargados), reducción de costos unitarios de perforación y voladura de 212,93 US\$ a 166,67 US\$ por metro lineal, reduciendo 46,26 US\$. Se incrementó el rendimiento de avance de 1,08 m a 1,36 m superando el bajo rendimiento de avance. Gracias al diseño de malla se redujo la cantidad de carga explosiva en un 18,66 % promedio, es decir de 11,2 kg a 9,11kg.

Apaza (2020) concluye que con el rediseño de la nueva malla aplicando el corte cilíndrico en el arranque, mejoraron los rendimientos de perforación y voladura, los taladros se redujeron de 46 a 40 taladros perforados, los avances por disparo incrementaron de 1,39 m a 1,62 m por disparo, representando una mejora de 16,5 % al anterior, también se logró disminuir el factor de carga de 3,43 kg/m³ a 2,76 kg/m³, estos resultados basados en cálculos matemáticos de método de Holmberg.

Javier (2020) mejoro la efectividad de la voladura de 94,84 % a 97 % diseñando una nueva malla para el frente de perforación lo cual significó un incremento de tonelada roto de 144,84 a 194,69 toneladas haciendo un avance efectivo de 4,29 m con perforaciones de 16 pies.

Palma (2019) indica que mediante el nuevo diseño malla de perforación en la galería 905, de la unidad minera FOX, se optimiza el proceso de perforación y voladura



reduciendo de 39 a 34 taladros haciendo un ahorro significativo de 392,10 US\$/m (antes de la optimización) a 380,89 US\$/m (después de la optimización), obteniendo una diferencia de 11,21 US\$/m., con el diseño de malla también nos ayudó a generar un mayor avance de 1,62 a 1,68 incrementando 6 cm por cada disparo. En voladura se mejoró y se hizo una mejor distribución de carga en la galería 905, minimizando la cantidad de dinamita 65 % semigelatina en 4,88 kg (antes 31,71kg, a después 26,83kg)

Aliaga (2018) concluye que se pudo confirmar que realizando una perforación efectiva de 1,62 m se pudo obtener un avance medio de 1,53 m obteniendo una eficiencia del 94 % más a la del anterior, poniendo en evidencia que diseñar una malla de perforación y voladura puede ser muy importante para mejorar los avances en Minera Caracol S.A.C., este resultado es muy próximo al propuesto por Holmberg que plantea que el avance por disparo tiene que ser mínimo 95 %, para optimizar los costos de perforación y voladura.

Rojas (2018) concluye que aplicando la teoría de Holmberg en la geometría del nuevo diseño de malla se alcanza mejorar el avance a 3,00 m. Donde considerando el cálculo del burden en las diferentes áreas de la malla, las variables dependientes y variables independientes así como las características de los explosivos y las características del macizo rocoso donde se ejecuta el diseño de malla de perforación.

Romero (2018) asegura que tras las mejoras, el número de toneladas en el segundo semestre de 2017 ascendió a 34 000 toneladas de mineral. Así, la producción aumentó en 5 600 toneladas, es decir, un aumento del 8 % es la utilidad de la empresa minera en términos de producción. Este ritmo de producción se debe a un aumento de los avances adquiridos en el segundo semestre de 2017, que ascendió a 218,87 millones.



Molina (2017) Indica que a través de propuestas de mejora se encontró que el 90,2 % del tonelaje perdido por no avanzar los trabajos de mina como se esperaba tiene potencial de recuperación. La perforación y la voladura se combinan, por lo que una buena perforación garantiza una buena voladura. La perforación es la mejor forma de iniciar la voladura, se dice que la perforación soporta el 70% de la voladura, el porcentaje restante es solo para hacer carga suficiente de acuerdo al frente a minar, tomando en cuenta el tipo de roca y características geomecánicas.

Silva (2017) asegura que la eficiencia de disparo (m/disp.) se ha mejorado debido a un nuevo replanteamiento del diseño de la malla de perforación que tiene en cuenta las propiedades físicas, químicas y mecánicas del macizo rocoso. Debido a la aplicación de tecnología de detonación y carga, se reduce el consumo de explosivos (kg/m), compensando la falta de control de voladuras. El uso de equipos láser cat puede reducir el tiempo de marcado de la cuadrícula y optimizar la eficiencia del trabajo inicial en los pisos 2 300 – 200 – 2 450 y 2 600 de la mina Consuelo. Se mejora el índice de productividad en m/tarea por el buen marcaje de malla en frentes, cortadas, rampas mediante equipos láser cat.

Palomino (2016) indica que en una sección de 3 m x 3 m antes y después, con una longitud de 1,66 m perforados se logró reducir los taladros perforados que antes fue de 3 alivios y 36 de producción y ahora en la actualidad los taladros perforados son 3 alivios y 34 de producción. El factor lineal antes fue de 1,53 ml por disparo y ahora con el método perfeccionado se avanza 1,66 ml por disparo. La eficiencia de perforación se aumentó de un 90 % a 97 %, el factor carga de redujo de 3,03 kg/tal., a 2,44 kg/tal., y los costos de perforación y voladura se lograron optimizar de 285,3 \$/m a 253,6 \$/m haciendo un ahorro de 31,6 \$/m.



Ramos (2016) nos dice que mediante el uso del método de 7 pasos de control de calidad y adaptar la prueba piloto en el frente 200 W, asegurando la estandarización del proceso de perforación y voladura, se puede superar el principal problema del rendimiento de avance en la ejecución de galerías y cruceros, la optimización se puede lograr un 19 %, mejorando de 1,11 m/disparo a 1,32 m/disparo. Con la implementación del nuevo estándar de perforación y voladura, se puede reanudar la ejecución de frentes y galerías, como se refleja en las métricas clave de gestión de productividad de perforación y voladura: una disminución del 3% en la cantidad de taladros, una disminución del 4 % en consumo de explosivos, y una disminución del 19 % en el factor carga.

Maldonado (2016) mencionó que la implementación de proyectos de mejoramientos de volcan ha dado buenos resultados tanto cuantitativa como cualitativamente. Como resultado, los programas de optimización se están extendiendo a todas las unidades para mejorar los procesos y reducir los costos. A partir de septiembre se deberá iniciar el primer ciclo de mejoramiento en las unidades Cerro de Pasco y Alpamarca, que permitirá el despliegue de todas las unidades operativas de Volcan. Otro beneficio de implementar un modelo de gestión de métricas es un mejor control sobre los costos operativos, ya que estos representan más del 60% de los costos operativos unitarios. Además, se trabaja en reconocer a los equipos de trabajo que fortalecen y premian su compromiso, institucionalizar encuentros de equidad y calidad para mejorar la difusión de modelos de gestión y logros a nivel empresa en el ciclo de mejora continua de compañía Minera Volcan.

Garrido (2015) Indica que los resultados muestran que al mejorar los estándares de operación de la unidad de perforación y voladura, se puede reducir el costo unitario



total de la mina en 4,19 \$/ton, que es 18,50 % inferior al real. Esto representa una reducción anual en los costos operativos de la mina de \$ 3 771 000,00. El seguimiento y control operativo de la perforación y voladura debe incluir el control del diseño de la geometría de perforación de acuerdo al tipo de roca, conforme a la misma, el control del método de perforación (paralelismo del pozo, perforación de todo el pozo) y la división de la red de perforación adecuada o La adecuada secuencia de delimitación, control y validación de los retardos (tiempos de retardo de sector) asociados a la superficie libre de la malla permitirá eliminar los excesos de explosivos y aditamentos y garantizar que todos regresen al descanso.

Calderon (2015) mencionó que esto es muy importante en trabajos que se realizan en un solo puesto de operario a supervisor ya que todos tienen el mismo propósito de realizar la perforación y voladura correctamente, y no se presentan accidentes durante el proceso y producción. El diseño y marcaje de la malla perforada, así como el uso de guías en diferentes tareas, es el punto de partida para una buena voladura y, por tanto, material con la mejor granulometría. La implementación de estas prácticas en la perforación tiene un gran impacto en la reducción de fallas en voladuras en los proyectos mineros de la compañía.

Pacahuala (2015) indica que para una empresa especializada en cerca del 41% de perforación y voladura, tanto la producción como la productividad se han visto impactadas muy favorablemente, lo que se refleja en un consumo razonable de brocas y barrenos. Indirectamente, la calidad del trabajo también se ha visto afectada debido a la supervisión y control de la operación de este caso específico.

Sangerton (2014) concluye que la incorporación de las propiedades de la sustancia explosiva y el efecto de la voladura en el macizo rocoso en un método de



diseño de voladuras altas, como los túneles, hace que los resultados de las voladuras sean más eficientes, ya que reduce la sobreexcavación y, por lo tanto, los costos de excavación. Además ayuda a posibilitar una mayor estabilidad en trabajos subterráneos. Con la aplicación de este sistema se logró reducir la sobreexcavación en un 34,03 %, logrando una reducción en su valor de 10,8 m² a 0,8 m² en Levisa – Mayari.

Mauro (2013) concluye que para incrementar las eficiencias, es importante trabajar con la actitud y sensibilización de los perforistas con el fin de que la perforación sea del 95 % como mínimo de la longitud de la barra de perforación y adicional a ello la aplicación del diseño propuesto. Se obtuvo un incremento de avance de 2,64 m/disp., a 2,95 m/disp., haciendo una diferencia de 11 % en avances de tajeos. Se optimiza el factor carga de 0,29 kg/ton a 0,22 kg/ton haciendo una diferencia de 24 % de factor carga, también se reduce la dilución de 16,71 % a 13,71 % haciendo una diferencia de 17 % de dilución. Estos resultados de eficiencia optimizada nos ayudaron a ahorrar US\$ 63,35 mensuales.

Lara (2013) realizó un nuevo diseño de malla de perforación de acuerdo al modelo matemático de Holmberg, como resultado se mejoró la eficiencia por disparo que antes era 77 % pasando después a 88 % haciendo un aumento de 11 % de eficiencia de avance en las labores RP 040, RP 042, RP 980, BP 616.

Paucar (2012) concluye que el propósito de este trabajo de investigación es aumentar la eficiencia de disparo, reducir el precio unitario de los explosivos y accesorios de voladura consumidos y lograr mayores ganancias a menores costos, generando así más ingresos. El personal que realice el trabajo de esta manera, haciendo lo correcto de acuerdo con los parámetros establecidos en perforación, carguío de frentes, uso de explosivos y accesorios para minimizar el costo de consumo de



explosivos y accesorios, y cargar correctamente para un resultado efectivo. En este apartado, en base a las tablas y gráficos, se puede observar que el nivel de resultado del nuevo diseño de malla perforada aumenta la eficiencia de tiro, ya que el promedio de disparos en enero fue de 2,80 m., frente a la eficiencia de 3,15 m., debido a la nueva perforación para el diseño de la malla de perforación, notamos un aumento del 84,85% inicial al 95,45% final.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Definición de incrementar

Esta palabra hace referencia a otorgar una mayor extensión, número u objeto a algo. Esta expresión se utiliza para todo lo que puede hacerse más extenso en cantidad o magnitud. Por ejemplo, Cuando existe una mejora en lo que es materia prima a comparación de un antes y después, estaríamos hablando de un incremento de producción lo que es favorable para quien lo desarrolle.

2.2.2. Perforación y voladura de rocas

Bernaola *et al.* (2013) refieren que la perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Por lo tanto, con base en esta definición, este método es aplicable a cualquier método de minería, ya sea minería, construcción o excavación, el método de perforación y disparo es para perforar agujeros en la roca donde luego se colocarán explosivos. Colocados que, por su detonación, imparten la energía necesaria para triturar la roca detonada. Por lo tanto, se distinguen claramente dos tecnologías diferentes: la tecnología de perforación y la tecnología de diseño y construcción de voladuras.



2.2.3. Definición de eficiencia

La eficiencia es la inteligencia o habilidad para lograr un efecto. Al mismo tiempo, es una acción para lograr este efecto.

La expresión eficiencia se puede utilizar en muchos contextos. Por ejemplo, la eficiencia en minería se puede referir a la adecuada utilización y con la menor cantidad de recursos para conseguir un objetivo o cuando se alcanza más objetivos con los mismos o menos recursos (Chambi, 2019)

2.2.4. Estimación de la eficiencia

La eficiencia se mide mediante gráficos estadísticos comparativos. Los resultados imperfectos de la perforación con voladura se analizan y comparan en ausencia de una mejora geométrica en el diseño de la malla de perforación y sin un buen control del tiempo de perforación. Dando como resultados, mejoras en el diseño de la perforación y voladura trayendo consigo, reducir tiempo y costos en perforación y voladura y mejorar el porcentaje de avance por disparo utilizando los recursos necesarios (Chambi, 2019).

2.2.5. Definición de perforación óptima

Palomino (2016) nos dice que la perforación es óptima cuando cumple con los estándares para perforaciones individuales, lo que garantiza un progreso eficiente en la distancia de avance; es decir, un metro perforado horizontalmente es similar a metro avanzado.

Los modelos de perforación en este caso sería el siguiente: taladro paralelo (uso adecuado de guías en la perforación como signo de control); mantener una carga



uniforme a lo largo de todo el taladro para una fracturación hidráulica suficiente y al mismo tiempo promover la eficiencia. El espacio uniforme entre los agujeros contribuye a una fragmentación casi uniforme, evitando que el disparo se pierda. La longitud uniforme de los taladros ayuda a lograr el progreso deseado, especialmente si los taladros alcanzan la misma profundidad al fondo del macizo rocoso. Evitar bloquear el taladro para distribuir adecuadamente el explosivo y evitar que se dispare. La distribución adecuada de diámetro o número de perforaciones proporciona una superficie suficientemente libre desde la cual las ondas de tensión pueden reflejarse, provocando la ruptura de la roca; para realizar la perforación y voladura de manera óptima y eficiente (Palomino, 2016).

2.2.6. Definición de voladura óptima

La voladura es óptima cuando cumple con los siguientes criterios de voladura: el proceso de la voladura está directamente relacionado con la perforación para lo cual debe cumplir con uno de los parámetros; uso correcto, dosificado y bien cargado de explosivos, lo que se logra a través de especificaciones al ordenar la cantidad requerida de explosivos; Previo a ello, se realiza un análisis detallado de la malla de voladura. Otro parámetro es la carga en la columna de la voladura, que en promedio debe ser el 66% del taladro. El tiempo de escape de la malla explosiva se iniciará siempre por el lado libre y en orden ascendente hasta el último grupo de taladros que hayan explotado, y el ancla tendrá forma de "V"; Esto permitirá obtener una masa de material roto en el medio debido al disparo, lo cual es conveniente para optimizar el funcionamiento de los equipos de limpieza, así como utilizar la adecuada asignación de energía en la malla de la voladura (Palomino, 2016).



2.2.7. Factores a considerar para realizar el diseño de malla de perforación

En el diseño de malla de perforación existen algunos factores que se deberían tomar muy en cuenta, ya que realizar un adecuado control y selección de estos nos ayudaran a que la perforación y voladura sean más eficientes. Realizar una adecuada inspección a estos factores de perforación nos ayudaran a:

- Incrementar la eficiencia en perforación y voladura
- Obtener un buen avance
- Realizar una adecuada fragmentación
- Obtener una mejor estabilidad de labores
- Reducir los costos de perforación y voladura

2.2.8. Selección del equipo y accesorios de perforación

2.2.8.1. Equipo de perforación

Explosivos S.A. (EXSA, 2009) manifiesta que existen varios modelos y marcas de equipos de perforación para diferentes condiciones de trabajo. Su selección se basa en criterios económicos. Diseño mecánico, mantenimiento y servicio, capacidades operativas, adaptabilidad a otros equipos mineros y condiciones generales del lugar de trabajo (acceso, roca, terreno, energía, etc.).

Uno de los criterios más importantes en la perforación es la permeabilidad. La introducción de la perforación hidráulica, que utiliza aceite presurizado en lugar de aire comprimido para activar los martillos y otros equipos de perforación, ha alcanzado aumentar con éxito esta velocidad, aumentando la eficiencia de la perforación, especialmente en roca dura (EXSA, 2009).

En Minera Achanizo E.I.R.L., las operaciones de perforación se realiza con equipo netamente convencional, dentro de esta se tiene la máquina perforadora Jackleg YT27. Esta máquina naturalmente es utilizada para realizar excavaciones de pequeña a regular sección generalmente en labores de avances, frentes, chimeneas y galerías. En la siguiente imagen se muestran las propiedades técnicas de la perforadora YT27. Ver Figura 1:



Figura 1. Características de la perforadora neumática YT.

Fuente: (Atlas Copco, 2020)



2.2.8.2. Accesorios de perforación

a) Barras de perforación

Son varillas o tubos fijos de acero que transmiten la energía del impacto del martillo a la punta en uno de sus extremos (broca), estas varillas pueden ser tubulares, hexagonales, rígidas, etc. Y sus juntas son de rosca completa, cónica roscada, cónica simple, etc.

Finalmente, existe un grupo de barras macizas con extremos, que se dividen según la forma de la broca y la forma del inserto, respectivamente, como barras macizas, que se disponen en serie a medida que disminuye el diámetro del inserto, con longitud creciente del mismo. Los principales son: Brocas tipo cincel, tipo inserto múltiples y tipo botones (Soncco, 2019).

b) Brocas de perforación

Es un moderador de energía en el sistema, golpeando mecánicamente la roca para penetrarla. Existen dos tipos de brocas que se utilizan para la perforación rotopercutiva: Las brocas de pastillas y las brocas botones (López, 2005).

2.2.9. Métodos de perforación

Bernaola *et al.* (2013) manifiestan que la perforación de rocas ha ido evolucionando con el tiempo a medida que se combinan y utilizan diferentes técnicas, aunque muchas técnicas se han abandonado debido a las eficiencias obtenidas u otras condiciones eternas (económicas, ambientales, etc.). Los más utilizados y desarrollados se basan en sistemas de perforación mecánica conocidos como sistemas de perforación "rotativa" y "percusión".



La efectividad de estos métodos se enmarca en energías específicas por debajo de 1.000 j/cm^3 (Bernaola *et al.* 2013).

Existe una conexión intrínseca entre la perforación y la voladura, según Bernaola *et al.* (2013) “puede afirmarse categóricamente que una buena perforación posibilita una buena voladura, pero una mala perforación asegura una mala voladura” (p. 5).

Está claro que una buena perforación es aquella que se ha realizado con los medios y métodos más adecuados y, además, se ha realizado correctamente. De la misma manera, una buena explosión cumplirá el propósito para el cual fue diseñada. Según EXSA (2009) nos indica que la perforación se realiza por los siguientes medios:

1. Perforación por percusión

Con efecto punzón y corte, como un cincel y un martillo originando ondas de choque. Por ejemplo, taladro percutor pequeño y taladro neumático (López, 2014).

2. Perforación por percusión/ rotación

Con efecto de punzón, corte y giro, como el generado por las perforadoras neumáticas universales (EXSA, 2009).

3. Perforación por rotación

Con su efecto de corte y rayado por fricción con un material muy duradero (piedra abrasiva, sin impacto), por ejemplo, producido por plataformas diamantinas para fines de exploración (López, 2014).



4. Perforación por fusión

A través de un dardo de llama que funde las rocas y minerales, extremadamente sólidos, como la Taconita (hierro), un método utilizado en algunas minas de hierro en América del Norte (EXSA, 2009).

2.2.10. Condiciones de perforación

Para garantizar la efectividad de los disparos, la perforación es tan importante como la selección de explosivos, por lo que este trabajo debe realizarse con precaución y conciencia. Desafortunadamente, muchas minas aún no supervisan adecuadamente la perforación adecuada, lo que genera deficiencias en la calidad del trabajo (brocas inclinadas, desalineadas, longitudes desiguales, etc.), lo que reduce la productividad. Los taladros de energía explosiva están disponibles.

Por lo general, cuatro condiciones determinan la calidad de un pozo: diámetro, longitud, rectitud y estabilidad (Calderon, 2015).

- **El diámetro:** depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado. Como regla general, el de “menor diámetro factible” será el más adecuado y económico de realizar (Calderon, 2015).
- **La longitud:** influye mucho en la elección de la capacidad de perforación y, por supuesto, en el avance por disparo (profundidad de perforación).
- **La rectitud:** varía con el tipo de roca, método de perforación y propiedades del equipo perforador. Tienen que tener la mayor rectitud y alineamiento para que el explosivo sea adecuadamente distribuido. La gran mayoría de trazos de perforación el paralelismo entre taladros es de vital importancia para la interacción de las cargas explosivas en toda la voladura (Pachas, 2017).



- **La estabilidad:** los taladros deben conservarse abiertos hasta el instante de su empleo. En terrenos sueltos tienden a desplomarse por lo que puede ser necesario revestirlos interiormente con tubos especiales para poderlos cargar (casing) o hacer otro taladro adyacente al obturado (Pachas, 2017).

2.2.11. Avance Lineal

Lo que se puede lograr depende en gran medida de la habilidad del perforista y del paralelismo de los taladros, en algunos casos comienza la sección del taladro de fondo, en este caso el ancho al que limita la frente, es decir la máxima profundidad de arena alcanzable, en primer plano, con un solo plano, será igual al ancho de la rampa, galería, crucero, etc. Esta regla cumple para arranques en cuña “V” es por ello que en muchas minas ya no se perfora estos tipos de arranques o trazos como se puede denominar, mucho depende del avance también de los siguientes factores (Calderon, 2015):

- **Dureza de la roca:** si la roca es muy dura la profundidad de los taladros será limitada, esto es en parte verdad, pero sería necesario utilizar explosivo de alto poder rompedor en cantidad necesaria, para lograr buenos avances (Calderon, 2015).
- **Errores y defectos de la perforación:** la perforación debe ser ejecutada, en el menor tiempo y con acabado de calidad eludiendo que se quede mineral en las cajas o que se diluya por deficiente perforación. También en las labores de desarrollo el avance debe ser el 95% de la longitud perforada de lo contrario no estamos realizando un trabajo eficiente.

Los conocimientos necesarios que le faltan para mejorar su trabajo, el perforista debe ser consciente en su capacitación buscando ser multihabilidoso, flexible al

cambio permanente, participando en grupos de mejoramiento continuo, Finalmente el perforista debe cumplir satisfactoriamente las órdenes de sus jefes, tener un conocimiento perfecto de los procedimientos escritos de trabajo seguro (pets), estándares de trabajo, realizando su identificación de peligros evaluación y control de riesgos (iperc) y trabajar con ellas, A continuación se muestra los errores en la perforación, de los cuales son causantes de trabajo de mala calidad en avances. (EXSA, 2009).

a) Huevo de alivio de diámetro muy pequeño

Los errores son mínimos, particularmente si afectan el arranque del disparo, ver

Figura 2:

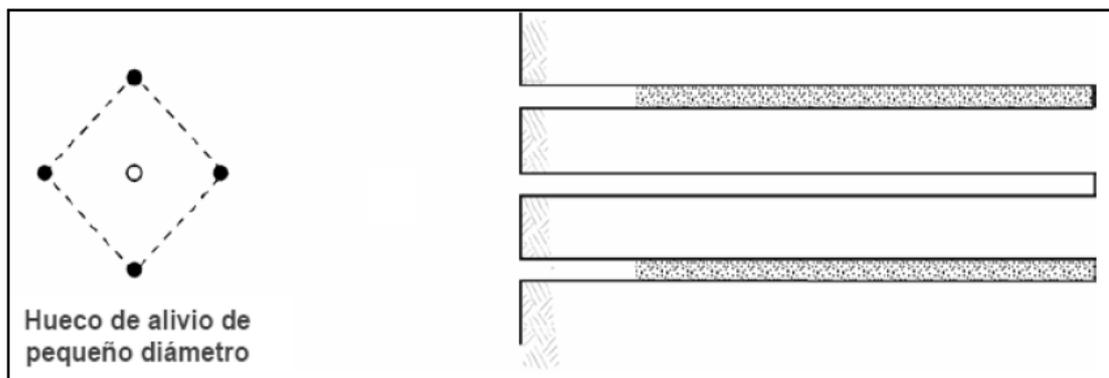


Figura 2. Hueco de alivio de diámetro muy pequeño.

Fuente: (EXSA, 2009)

b) Desviación en el paralelismo

En este caso el burden no queda parejo, es más al fondo, lo que incide en el agrietamiento y avance, en otros casos, la desviación de los taladros se manifiesta en la conexión de unos taladros entre sí, lo que afecta directamente a la perforación. Que también es similar a la intersección de taladros, pero en este caso de intersección puede

ser tanto para arriba o para abajo con respecto a la horizontal (EXSA, 2009). Ver Figura 3:

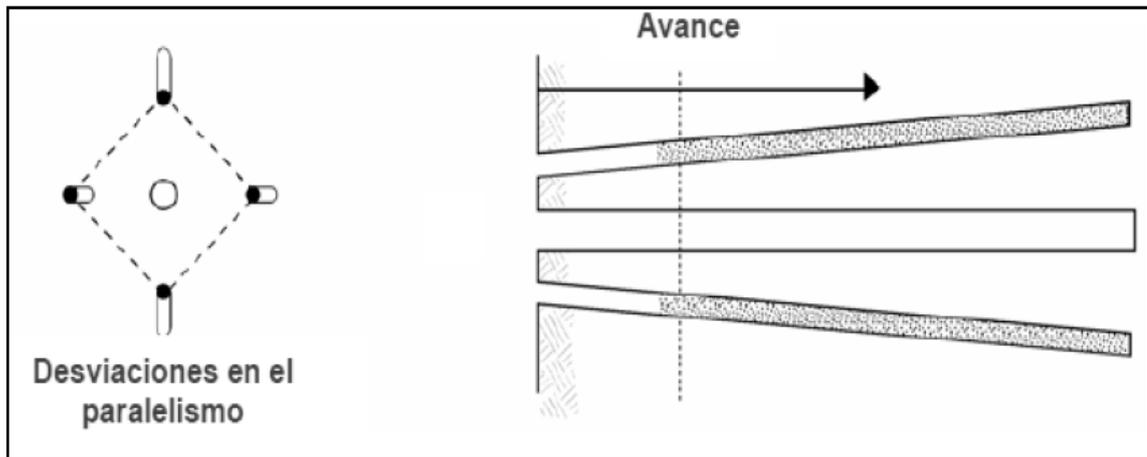


Figura 3. Desviación de paralelismo

Fuente: (EXSA, 2009)

c) Espaciamientos irregulares entre taladros

Generan fragmentación gruesa, o soplo del explosivo, ver Figura 4:

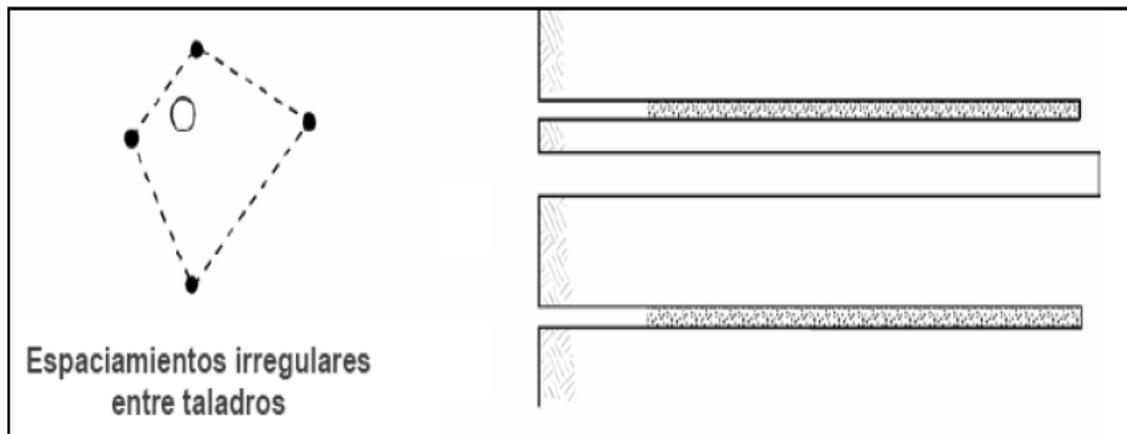


Figura 4. Espaciamientos irregulares entre taladros.

Fuente: (EXSA, 2009)

d) La irregularidad de los taladros

Estos interviene de gran manera en el avance (generalmente si el de alivio es muy corto) nueva cara muy irregular (EXSA, 2009). Ver Figura 5:

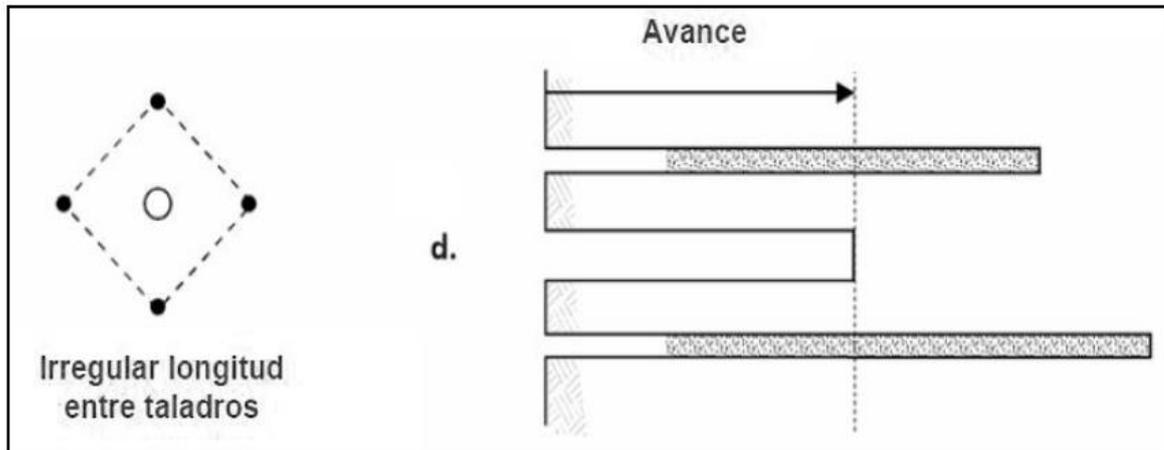


Figura 5. Irregularidades de los taladros.

Fuente: (EXSA, 2009)

e) Intersección de taladros

Esto afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper (EXSA, 2009). Ver Figura 6:

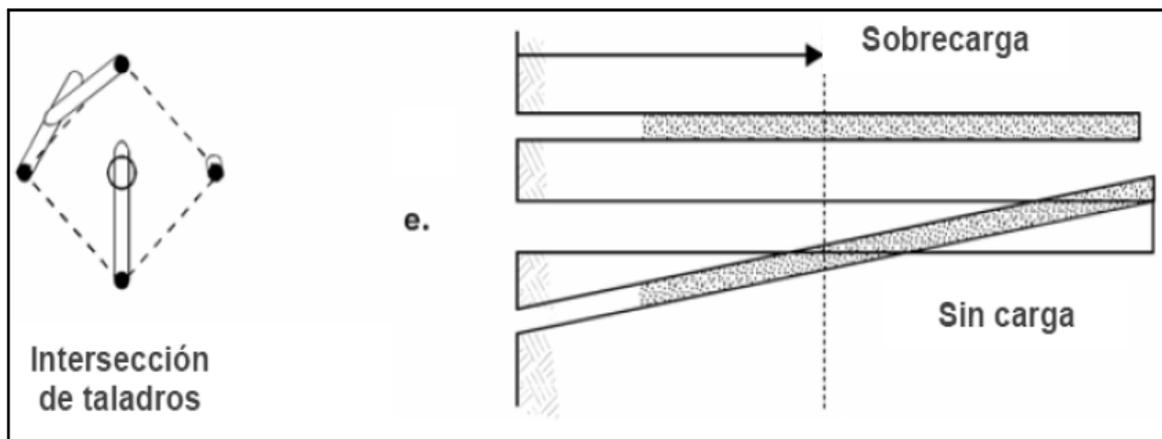


Figura 6. Intersección de taladros.

Fuente: (EXSA, 2009)

2.2.12. Acciones al realizar la perforación

La perforación a rotoperCUSión es el procedimiento clásico de perforación de barrenos que aparece con el desarrollo industrial del siglo XIX. Este procedimiento, constituye dos hitos en el desarrollo del arranque de rocas en minería y obras civiles. El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero llamado pistón, sobre un útil, que a su vez transmiten la energía al fondo del barreno, por medio de un elemento final denominado boca o bit. Este sistema de perforación suele usarse en terrenos muy duros y semiduros (López *et al.* 2014).

Las principales actividades que se desarrollan en el sistema de transmisión de energía hasta la boca de perforación son:

- **Percusión:** son los impactos producidos por el golpe del pistón que originan unas ondas de choque que se transmiten a la boca a través del varillaje o directamente sobre ella.
- **Rotación:** se hace girar la broca para para que los impactos se produzcan sobre la roca y para cambiar la zona de impacto (López *et al.* 2014).

- **Empuje:** es la energía originada por el mecanismo de impactos del martillo debe transmitirse a la roca. Según Larijo (2019), “Por lo tanto es necesario que la broca se encuentre en contacto permanente con el fondo del taladro. Esto se consigue con la fuerza de empuje suministrado por un motor o cilindro de avance que debe adecuarse al tipo de roca y broca de perforación” (p.10).
- **Barrido:** hace que el líquido elimine los desechos del fondo del barreno.

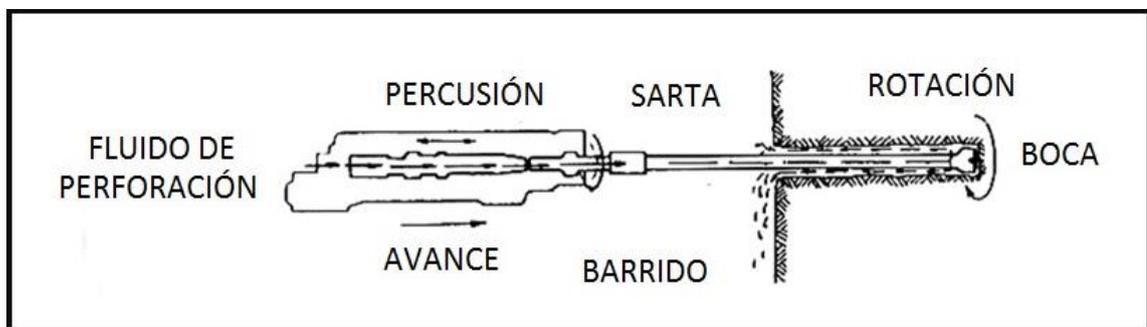


Figura 7. Acciones básicas de perforación rotopercutiva.

Fuente: (López, 2014)

2.2.13. Distribución de los taladros

El trazo o diagrama de distribución de taladros y de la secuencia de salida de los mismos presenta numerosas alternativas, de acuerdo a la naturaleza de la roca y a las propiedades del equipo perforador, llegando en ciertos casos a ser bastante complejo (Soncco, 2019).

Los taladros se distribuirán en forma concéntrica, con los del corte o arranque en el área central de la voladura, siendo su denominación como sigue (EXSA, 2009).



a) Arranque o cueles

La función del arranque es formar la primera cavidad en el frente cerrado de una galería, creando así una segunda cara libre para la salida de los demás taladros. Generalmente son los taladros que se disparan al inicio, para formar la cavidad inicial. Por lo que generalmente se cargan de 1,3 a 1,5 veces más que el resto (Fernandez, 2012).

b) Ayudas

Son los taladros que rodean a los taladros de arranque y forman las salidas hacia la cavidad inicial. De acuerdo a la dimensión del frente varía su número y distribución comprendiendo a las primeras ayudas (contracueles), segunda y terceras ayudas (taladros de destrozo o franqueo). Salen en segundo término (Soncco, 2019).

c) Cuadradores

Estos son los taladros laterales (hastiales) que forman los flancos del frente.

d) Alzas o techos

Son los que forman el techo o bóveda del túnel. También se les denominan taladros de la corona. En voladura de recorte o smooth blasting se disparan juntos alzas y cuadradores en forma instantánea y al final de toda la ronda, denominándolos en general, “taladros periféricos”.

e) Arrastres o pisos

Son los que corresponden al piso del túnel o frente; estos se disparan al final de toda la ronda (Soncco, 2019).

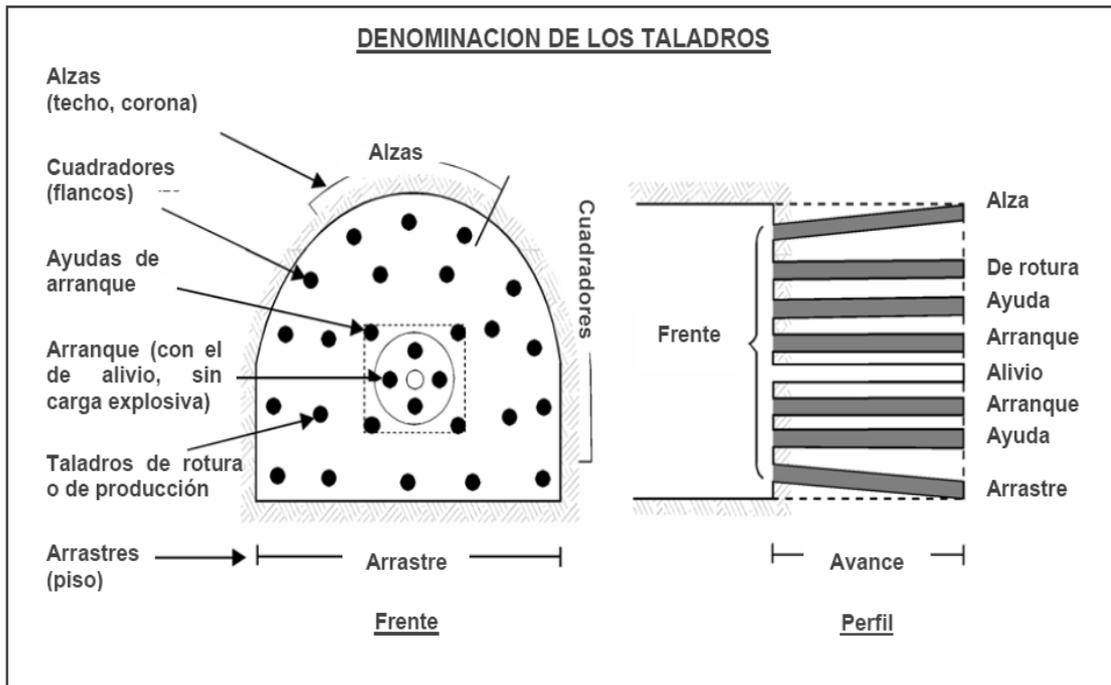


Figura 8. Denominación de los taladros.

Fuente: (EXSA, 2009)

2.2.14. Selección del diseño de arranque

Según EXSA (2009) refiere que “el principio de la palabra voladura de túneles reside, por lo tanto, en la apertura de una cavidad inicial, denominada corte, cuele o arranque, destinada a crear una segunda cara libre de gran superficie para facilitar la subsiguiente rotura del resto de la sección, de modo que los taladros del núcleo y de la periferia pueden trabajar destrozando la roca en dirección hacia dicha cavidad”.

Al formarse la cavidad el frente cerrado del túnel se transforma en un “banco anular”, don de los factores de cálculo para el destroce serán semejantes a los empleados en un banco de superficie, pero como ya se mencionó, exigiendo cargas considerablemente mayores para desplazar el material triturado (EXSA, 2009).

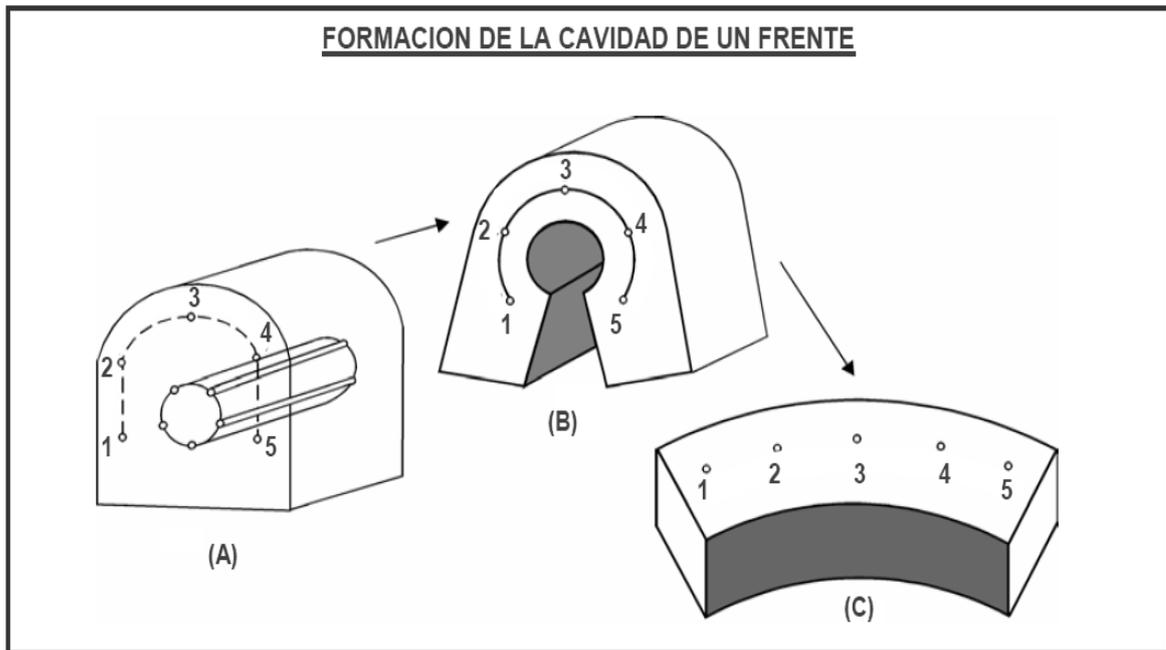


Figura 9. Formación de la cavidad de un frente.

Fuente: (EXSA, 2009)

Según las dimensiones de un túnel y el diámetro de los taladros, el área de la cavidad de arranque puede ser de 1 a 2 m², normalmente adecuada para facilitar la salida de los taladros del núcleo hacia ella.

La profundidad del corte deberá ser igual a la estimada para el avance del disparo, cuando menos. La ubicación influye en la facilidad de proyección del material roto, en el consumo de explosivos y el número de taladros necesarios para el disparo. Por lo general, si se localiza cerca de uno de los flancos (a) se requerirá menos taladros en el frontón; cerca al techo (b) proporciona buen desplazamiento y centrado de la pila de escombros, pero con mayor consumo de explosivo, al piso (c) es conveniente solo cuando el material puede caer fácilmente por desplome. En general, la mejor ubicación es al centro de la sección ligeramente por debajo del punto medio (d) (EXSA, 2009).

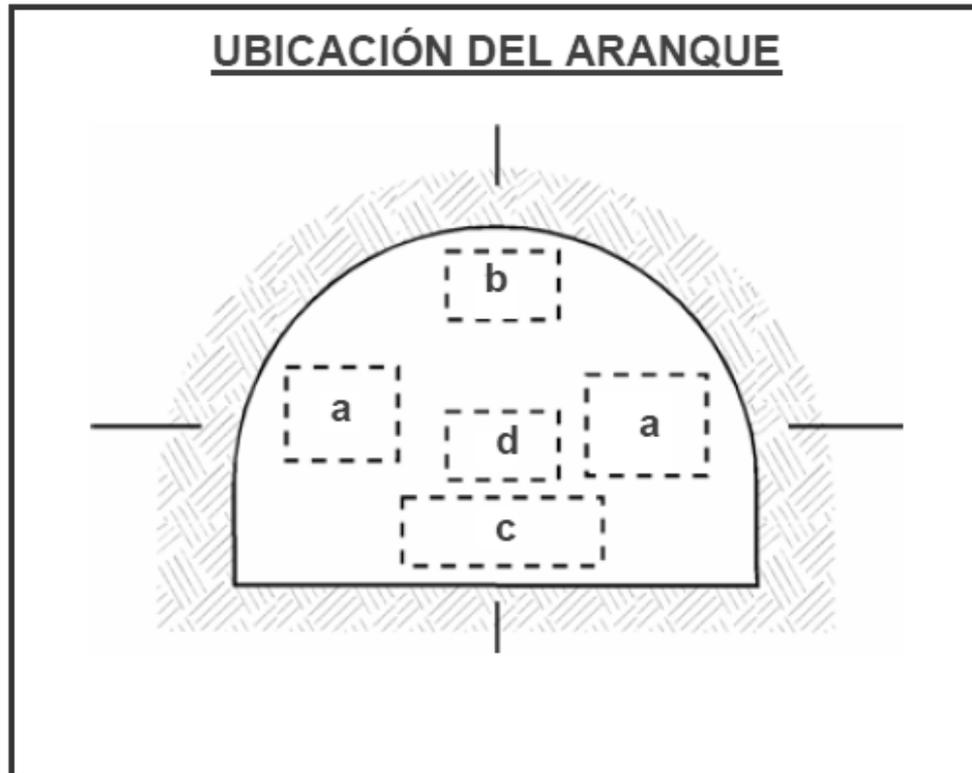


Figura 10. Ubicación del arranque.

Fuente: (EXSA, 2009)

Los métodos de corte corresponden a las formas de efectuar el disparo en primera fase para crear la cavidad de corte. Estos métodos se comprenden en dos grupos:

- **Cortes con taladros en ángulo o cortes en diagonal**

La efectividad de los cortes en diagonal consiste en que se preparan en forma angular con respecto al frente del túnel, lo que permite que la roca se rompa y despegue en forma de “descostre sucesivo” hasta el fondo del disparo. Cuanto más profundo debe ser el avance, mas taladros diagonales deben ser perforados en forma escalonada, uno tras otro conforme lo permita el ancho del túnel. Las geometrías de arranque logrado con los cortes angulares básicas son: corte en

pirámide o diamante, corte en cuña o en “v”, corte en cuña de arrastre, corte en abanico, corte combinada de cuña y abanico, cortes en paralelo (EXSA, 2009).

- **Cortes con taladros en paralelo**

Los esquemas básicos con taladros paralelos son: corte quemado, corte cilíndrico con taladros de alivio, corte escalonado con tajadas horizontales.

El corte quemado comprende a un grupo de taladros de igual diámetro perforados cercanamente entre sí con distintos trazos o figuras de distribución, algunos de los cuales no contienen carga explosiva de modo que sus espacios vacíos actúan como caras libres para la acción de los taladros con carga explosiva cuando detonan. (EXSA, 2009).

Ubicar este corte o arranque será muy importante y dependerá de las condiciones del macizo rocoso, generalmente estos cortes se trata de ubicar en el centro de la malla de perforación, con la finalidad de realizar una mejor y adecuada distribución de los taladros, además nos ayudara a realizar mejor nuestros cálculos de burden y espaciamiento en los cuadrantes, ver Figura 11 (Soncco, 2019).

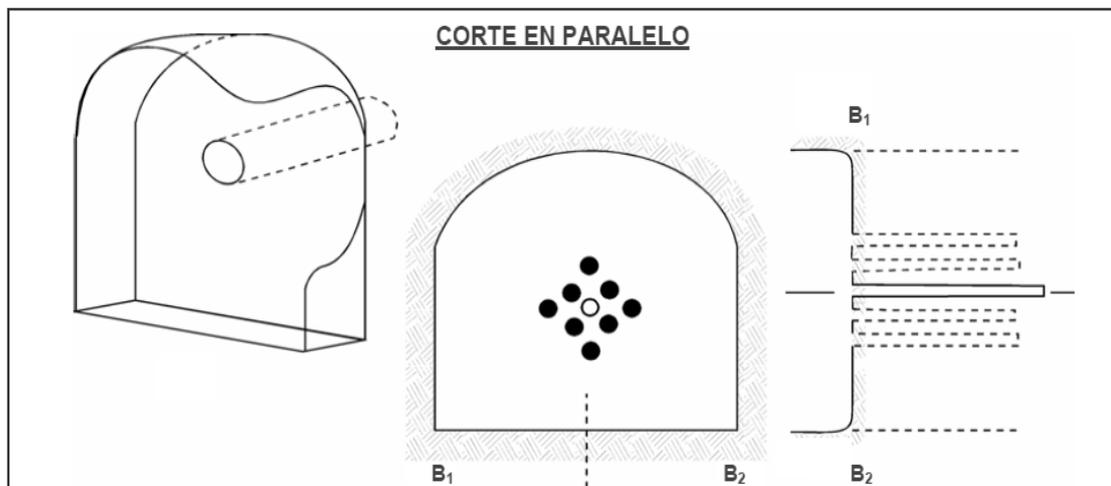


Figura 11. Corte en paralelo.

Fuente: (EXSA, 2009)

2.2.15. Características de los taladros de destroce

Arranque de cuatro secciones

La distancia entre el taladro central de alivio y los taladros de la primera sección no tendría exceder de $1,7 \times D_2$ (D_2 es el diámetro del taladro de alivio y D_1 el de producción) para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca. Las condiciones de fragmentación varían mucho, dependiendo del tipo de explosivo, características de la roca y la distancia entre los taladros cargados y vacíos. (Condoli y Porras 2015).

La siguiente figura muestra la geometría general de una sección de cuatro secciones con taladros paralelos, ver Figura 12:

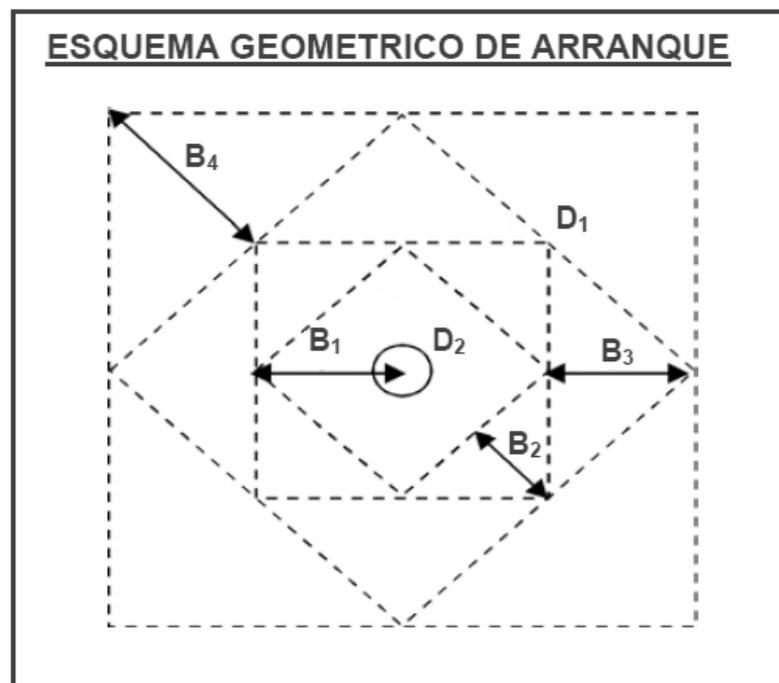


Figura 12. Esquema geométrico de arranque de 4 secciones.

Fuente: (EXSA, 2009)



2.2.16. Factores a considerar para la voladura

De acuerdo con los criterios de la mecánica de fractura, la voladura es un proceso tridimensional en el que la presión creada por los explosivos confinados dentro del taladro en la roca crea una región de alta concentración de energía, lo que resulta en dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. (EXSA, 2009).

- **La fragmentación**, se refiere al tamaño de los fragmentos resultantes, a su distribución y porcentaje por tamaños.
- **El desplazamiento**, se refiere al movimiento de la masa de la roca triturada.

Hay una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente, interdependientes o interrelacionados en las voladuras, algunos controlables y otros no controlables, tales como variables de diseño, perforación o explosivos. Se puede usar, usar, y no podemos modificar la geología ni las características del macizo rocoso. Para facilitar la interpretación, estos factores relacionados se agrupan, a menudo denominados variables, factores, parámetros o condiciones subyacentes, que incluyen (EXSA, 2009):

2.2.16.1. Selección de los explosivos y accesorios para la voladura

Según FAMESA Explosivos (2020) refiere que “la elección del tipo de explosivo es una parte importante del diseño de una voladura y, por consiguiente, de los resultados que se obtengan. Conviene recordar los objetivos prioritarios de una voladura”:

- Maximizar la fragmentación de la roca.
- Minimizar las vibraciones terrestres.



- Controlar los daños de las labores remanentes.
- Minimizar la dilución del mineral.
- Minimizar los costos de extracción.
- Controlar el desplazamiento del material volado y forma geométrica de las pilas de material.

Hay varios factores que deben analizarse para seleccionar el explosivo correcto: precio, diámetro de la carga útil, características de la roca, volumen de roca a explotar, disponibilidad de agua, condiciones de seguridad, entorno de explosión y problemas de suministro, entre otros factores. (FAMESA, 2020).

2.2.16.2. Precio del explosivo

En principio, se busca escoger el explosivo más rentable con el que es capaz de realizar un trabajo determinado. Al hablar del precio del explosivo en general, es más precisa la expresión “precio por unidad de energía disponible” (\$/J) que “precio por unidad de peso” (\$/Kg), puesto que, en definitiva, los resultados de las voladuras dependen de la energía consumida para la fragmentación y esponjamiento de la roca (FAMESA, 2020).

2.2.16.3. Propiedades físicas

Dureza: Indica aproximadamente el problema de perforarla (Condoli y Porras, 2015).

Tenacidad: Indica qué tan fácil o difícil es romperse cuando se somete a fuerzas de compresión, tracción e impacto, desde suelto (ligero), medio hasta tenaz (duro).



Densidad: Indica aproximadamente entre el problema para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm³ en promedio. Las rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse (Condoli y Porras, 2015).

Textura: Su amarre también está relacionada con la forma de unión cristalina o granular y su grado de adhesión o cohesión.

Porosidad: Es la proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.

Variabilidad: Las rocas no son iguales en su composición y textura. Tienen una elevado índice de anisotropía o heterogeneidad.

Grado de alteración: Deterioro realizado por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las cambian o transforman.

2.2.16.4. Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas

Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido:

Es la rapidez con la que estas ondas penetran las rocas.

Resistencia mecánica: Son las resistencias a las fuerza de compresión y tensión.

Fricción interna: Es la capacidad de las superficies internas para deslizarse bajo tensión (roca en capas).

Módulo de Young: Es la resistencia elástica a la deformación.

Radio de poisson: Es el radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.



Impedancia: Es la relación de la velocidad sísmica y la densidad de la roca con la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Las rocas con alta frecuencia sísmica a menudo requieren explosivos con altas tasas de detonación (Condoli y Porras, 2015).

2.2.16.5. Condiciones geológicas

Estructura: Es la forma de presentación de las rocas y se encuentra en la relación con su origen o formación (macizos, etc.).

Grado de fisuramiento: Indica la intensidad y amplitud de fractura de la roca natural. La orientación (a lo largo del rumbo y buzamiento) de los sistemas de fallas y la distancia entre ellos es importante, como lo es el patrón de apertura y llenado de las discontinuidades.

Presencia de agua: Indica la selección del tipo de explosivo a utilizar.

2.2.16.6. Condiciones de la carga

Diámetro de la carga (diámetro del taladro)

Influye particularmente en la productividad del explosivo.

Geometría de la carga

Está en relación del diámetro con la longitud de la carga, “zonas de fracturación”.

Grado de acoplamiento

Es el radio del diámetro del taladro con el diámetro de la carga.



Grado de confinamiento

Esto depende del manguito, el tapón o la terminación, el uso de un tapón inerte para sellar el orificio y la forma de la carga (carga y espacio entre orificios).

Distribución de carga en el taladro

La explosiva suele ser de un tipo (carga única). Explosivo más denso, potente y menos denso.

Variables de perforación

Son muy importantes para los resultados de la voladura:

- El fondo del taladro.
- La malla de perforación (burden y espaciamiento).
- Diámetro del taladro (para el burden y uso de explosivo).
- Inclinación del taladro.

Evaluación de la voladura

Una voladura eficiente se considera por sus resultados. Estos son:

- El volumen de material destrozado: esta tendrá que ser similar al volumen teórico calculado.
- El avance por disparo: al realizar voladuras en túneles y galerías, la cantidad máxima de alimentación es igual al ancho de la labor, por lo que la alimentación mínima debe ser igual a la profundidad de los agujeros. El perímetro de los túneles debe ser igual al perímetro de diseño; si es menor, se requerirá una extensión adicional (desquinche). Por otro lado, si supera un cierto límite, causa



problemas de costos y, en algunos casos, problemas de estabilidad y costos de sostenimiento (Yanac, 2016).

- Pisos: en las labores de operación es importante mantener el nivel del piso (drenaje de agua y líneas de riel) (Condoli y Porras, 2015).
- Fragmentación: es el grado de fragmentación del material disparado, o el tamaño medio de los fragmentos deseados, depende del trabajo para el que se utilice, pero los fragmentos demasiado gruesos o demasiado finos suelen ser una desventaja. Debe observarse el porcentaje de cálculos grandes que deben reducirse posteriormente. La fragmentación está directamente relacionada con la facilidad y el costo de raspado y transporte (Yanac, 2016).
- La sobrerotura: es la debilitación y agrietación de todo el perímetro en labores de avance, afectando la profundidad, con el riesgo de colapso del techo o paredes. Aparte de condiciones geológicas de incompetencia, debilidad estructural y alto grado de fracturamiento, tienen responsabilidad en este problema el exceso de carga explosiva y/o el encendido instantáneo o con tiempo muy cortos entre taladros, debido al fuerte golpe que producen (Yanac, 2016).
- Desplazamiento del material roto: este desplazamiento de material roto debe ser adecuado para facilitar las operaciones de carga y acarreo. La forma de acumulación se proyecta de acuerdo al tipo de equipo que se va emplear en la limpieza del disparo (Ramos, 2016).
- Falta de desplazamiento de material roto: cuando un disparo rompe material pero no se mueve de su sitio, se dice que el tiro de ha “congelado”. Esto se traduce en mala fragmentación en la parte inferior e interior del banco, en dificultad para la remoción del material roto y en riesgo de encontrar material



explosivo no detonado. Esto ocurre generalmente cuando los retardos no funcionan o no han sido distribuidos adecuadamente, y en subterránea cuando falla el arranque.

- Dispersión del material roto: este incrementa el peligro de proyección de fragmentos volantes, tiene el inconveniente en minas de “diluir” el material de valor económico al mezclarlo con desmonte, cuando se desparrama lejos de la cara de voladura. Generalmente indica excesiva carga explosiva hacia el cuello del taladro, o falta de taco inerte (Condoli y Porras, 2015).
- Costo total por disparo: nos sirve para calcular el costo total de una voladura, a la vez el costo de perforación (aire, barrenos, aceite, depreciación de la máquina, etc.) costo de explosivo, accesorios y planilla del personal (valorados en soles o dólares/TM) se deben tener en cuenta los costos de carguío y acarreo del material triturado, más los adicionales de voladura secundaria de pedrones sobre dimensionados y los de empleo de equipo adicional para eliminar lomos al piso. Todos ellos, aparte del avance y del volumen o tonelaje movido, representan el real rendimiento o resultados económicos de la voladura (Yanac, 2016).

2.2.16.7. Explosivos para la perforación

Los explosivos convencionales tienen características diferentes, que se utilizan para seleccionar el más adecuado, teniendo en cuenta el tipo de disparo y las condiciones de disparo. Las características de cada grupo explosivo también ayudan a predecir los efectos más probables de fragmentación, desplazamiento y vibración. (López, 2014).



2.2.16.8. Características de los explosivos

Las características básicas de un explosivo son:

Potencia y energía

Desde el punto de vista de las aplicaciones industriales, la potencia es una de las propiedades más importantes porque determina la energía disponible para producir efectos mecánicos.

Hay diferentes formas de mostrar el poder de la dinamita. En los generadores más antiguos, el parámetro para medir la potencia era el porcentaje de nitroglicerina. Luego, con sustitución parcial de la nitroglicerina por otras sustancias y pruebas comparativas de laboratorio, se habla de potencia relativa de masa y potencia relativa de volumen (López, 2014).

Velocidad de detonación

Conocida como la velocidad de la onda de detonación que atraviesa la columna de explosivos, es igual o mayor que la velocidad del sonido en los materiales y es una de las variables más importantes para calcular la presión explosiva de un explosivo. La velocidad de detonación se ve afectada por muchos factores, los más importantes son el tipo de producto, el diámetro, el confinamiento, la temperatura y el cebado (Soncco, 2019).

Densidad del explosivo

Las densidades de la mayoría de los explosivos oscilan entre 0,8 y 1,6 g/cm³ y, al igual que la tasa de detonación, cuanto mayor sea, mayor será el efecto destructivo.



La densidad de un explosivo es un factor muy importante para calcular la cantidad de carga requerida para una explosión. En general, los explosivos más densos, como las gelatinas y los hidrogeles, se utilizan en el fondo de los taladros, donde se requiere una mayor concentración de energía para impulsar la roca y se requieren explosivos más densos, como son los pulverulentos (Soncco, 2019).

Presión de detonación

Es la interacción entre la densidad y la velocidad de detonación, esta se calcula en $C - J$ de la onda de detonación (Watanabe, 2012).

Estabilidad del explosivo

Los explosivos deben ser químicamente estables y no descomponerse en condiciones ambientales normales. Un método de prueba de estabilidad es la prueba de Abel, que consiste en calentar una muestra durante un tiempo y temperatura específicos, observando el punto en el que comienza la descomposición. Por ejemplo, la nitroglicerina a 80 °C se descompone en 20 min.

La estabilidad de los explosivos es una de las características relacionadas con su máxima vida útil, de modo que no reduzcan los efectos que se producen durante una explosión (Watanabe, 2012).

Resistencia al agua

Es la capacidad de soportar la exposición prolongada al agua sin perder sus propiedades. Varía con la composición del explosivo y suele estar relacionado con el contenido de nitroglicerina o aditivos especiales, por lo que los gomas, hidrogeles y emulsiones son muy resistentes al agua.



Las escalas de calificación generalmente aceptadas son: no, limitada, buena, muy buena y excelente (Watanabe, 2012).

Sensibilidad del explosivo

Esta característica incluye varios valores según el tipo de influencia externa que se produzca en el explosivo.

- Acción controlada: La sensibilidad aquí es equivalente a la capacidad de detonación del detonador.
- Acción incontrolada: La sensibilidad es una medida de la facilidad con la que un explosivo puede detonado por calor, fricción, impacto o choque (FAMESA, 2020).

Transmisión de la detonación

La transferencia por "inducción" es un fenómeno que ocurre cuando un proyectil explota y hace que explote en otro entorno cercano.

Un buen impulso dentro de los barrenos es la clave para lograr la detonación completa de las columnas explosivas (FAMESA, 2020).

Desensibilización del explosivo

Se ha encontrado que en muchos explosivos industriales, la sensibilidad disminuye a medida que la densidad aumenta por encima de cierto valor. Este fenómeno es más evidente en preparados o explosivos que no contienen sustancias como TNT, nitroglicerina, etc (FAMESA, 2020).

Estas pueden ser producidas como:



- Presiones hidrostáticas y
- Presiones dinámicas.

Resistencia a las bajas temperaturas

Los explosivos de nitroglicerina son propensos a congelarse a temperaturas ambiente por debajo de los 8 °C, por lo que a menudo se agrega algo de nitroglicol para reducir el punto de congelación a aproximadamente -20 °C (López, 2014).

Humos de la voladura

El factor de seguridad que califica su nivel de toxicidad (generalmente todos los explosivos al explotar dispersan gases de CO y NO en diferentes cantidades) (Pachas, 2017).

2.2.16.9. Explosivos y accesorios utilizados en el frente de avance 1 850W

Los explosivos y accesorios utilizados para la perforación y voladura en el frente de avance 1 850W son:

- Dinamita famosa semigelatina: La Dinamita famosa semigelatina es un explosivo hecho de nitroglicerina con alto poder al desgarro y buena resistencia al agua. (FAMESA, 2017).

Tabla 1*Características de la dinamita Famesa 65 % y 80 %*

Descripción	Dinamita famesa semigelatina 65%	Dinamita famesa semigelatina 80%
Densidad relativa (g/cm ³)	1,14 ±0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de detonación (m/s)	5 400 ± 300	5 600 ± 300
Confinado (*) s/confinar (**)	3 700 ± 300	3 900 ± 300
Presión de detonación (kbar)	80	91
Potencia relativa en peso *** (%)	70	75
Fuerza hess (mm)	22	23
Volumen usual de gases (L/kg)	910	920
Resistencia agua	Muy buena	Muy buena
Categoría humos	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1¹/₂ pulgada de diámetro.

** Velocidad de detonación como cartucho de 1¹/₂ de pulgada de diámetro.

*** Potencia relativa referida a la Gelatina Explosiva (trauzl) con potencia de 100.

Fuente: (FAMESA, 2017)

- Fulminante común N° 8: Es uno de los elementos del sistema explosivo tradicional. Está hecho de una tapa cilíndrica de aluminio, cerrada por un lado, en cuyo interior tiene una carga primaria de explosivo sensible a la chispa y una carga secundaria de alto explosivo. (EXSA, 2016).
- Mecha de seguridad: Es la guía para conectar el fulminante con la dinamita.

2.2.17. Diseño de malla de perforación y cálculo de carga

La disposición de las brocas y el orden de su salida son muchas opciones dependiendo del tipo de roca y de las características del equipo de perforación, lo que en algunos casos llega a ser bastante complicado.

Como guía inicial para preparar un diseño de voladura en túnel mostramos el ya conocido método de cuadrados y rombos escritos, con arranque por corte quemado en rombo, y con distribución de los taladros y su orden de salida. (EXSA, 2009).

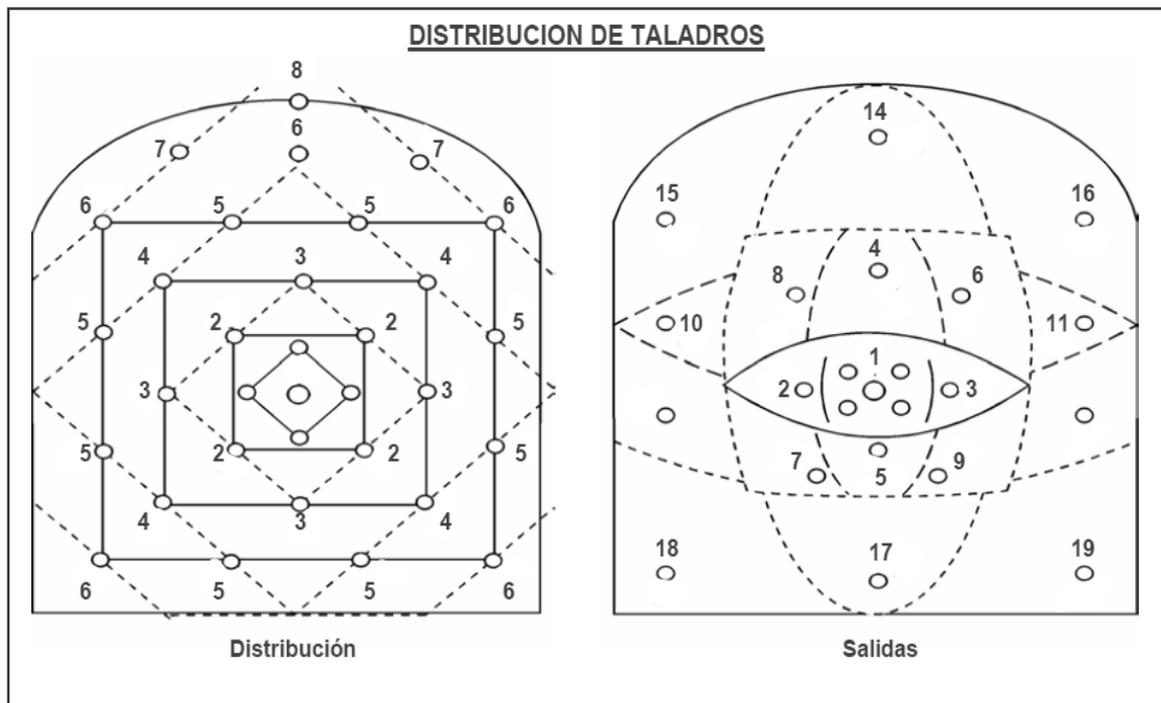


Figura 13. Distribución y salidas de los taladros.

Fuente: (EXSA, 2009)

2.2.17.1. Avance por disparo

Según EXSA (2009) refiere que “el avance por disparo está limitado por el diámetro del taladro vacío y la desviación de los taladros de carga que debe mantenerse por debajo del 2% los avances promedios y deben llegar al 95% de la profundidad del



taladro L. También para el diseño de malla de perforación se ha considerado el tipo de roca y su respectiva constante”.

$$L = 0,15 + 31,4 * D_2 - 39,4 * D_2^2$$

Donde:

L = Profundidad de taladro

D₂ = Diámetro de taladro (alivio)

Cuando se utilizan arranques con varios taladros vacíos en lugar de uno solo entonces la ecuación anterior sigue siendo válida si:

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

Donde:

D₂ = Diámetro de taladro alivio

N = Numero taladros vacíos en el arranque

D₁ = Diámetro de taladro a cargar

Avance de la voladura al 95%

Modelo matemático de Holmberg

Según el algoritmo de holmberg para determinar el avance de voladura al 95% se tiene la siguiente ecuación:

$$I = 0,95 * H$$

Donde:



I = Avance de voladura

H = Profundidad del taladro a perforar

2.2.17.2. Numero de taladros⁷

El número de taladros requeridos para una voladura subterránea depende del tipo de roca que se está volando, la extensión del límite inferior, la finura deseada y el diámetro de las brocas disponibles; Los factores individuales pueden causar una disminución o aumento en el tamaño de la red de disparos y, por lo tanto, aumentar o disminuir el número teórico de taladros. Algoritmo de Holmberg (EXSA, 2009).

$$N^{\circ} \text{ taladros} = 10 \times \sqrt{(A \times H)}$$

Donde:

A = Ancho del frente (m)

H = Altura del frente (m)

En forma más precisa con la relación

$$N^{\circ} \text{ taladros} = (P/dt) + (C \times S)$$

Donde:

P = Perímetro circunferencia de la sección del túnel (m), que obtenemos con la fórmula:

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

Dt = Distancia entre taladros (periféricos), generalmente es :



Tabla 2

Relación de la dureza de la roca con respecto a la distancia entre taladros

Dureza de la roca	Distancia entre taladros (m)
R. compacta	0,5 - 0,55
R. regular	0,6 - 0,65
R. blanda	0,7 - 0,75

Fuente: EXSA (2009)

C = Coeficiente o factor de roca, usualmente de:

Tabla 3

Relación de la dureza de roca con respecto al coeficiente de roca

Dureza de roca	Coeficiente de roca (m)
Roca compacta	2
Roca regular	1,5
Roca blanda	1

Fuente: EXSA (2009)

S = Sección de la labor

2.2.17.3. Calculo de burden, R. Holmberg

$$B = 1,5 \times D$$

Calculo para primer burden y sección, la distancia entre el taladro central de alivio y los taladros de la primea sección no debería exceder de $1,7 \times D2$ ($D2$ es el diámetro del taladro de alivio y $D1$ es el de producción) para obtener una fragmentación y salida satisfactoria de la roca. Las condiciones de la fragmentación cambian mucho,



dependiendo del tipo de explosivo, propiedades de la roca y espaciado entre los taladros cargados y vacíos (EXSA, 2009).

Tabla 4

Calculo del burden y sección

Sección del corte	Valor burden	Lado de la sección
Primera	$B_1 = 1,5 \times D_2$	$B_1 \times \sqrt{2}$
Segunda	$B_2 = B_1 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B_2 \times \sqrt{2}$
Tercera	$B_3 = 1,5 \times B_2 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B_3 \times \sqrt{2}$
Cuarta	$B_4 = 1,5 \times B_3 \times \sqrt{2}$	$1,5 \times B_4 \times \sqrt{2}$

Fuente: EXSA (2009)

2.2.17.4. Distribución de carga

Fragmentación de la roca

Básicamente existen 4 etapas en las que el material es destruido y desplazado durante y después de la detonación completa de la carga cerrada. Los siguientes pasos son:

- Explosión
- Extensión de la onda de golpe
- Expansión del gas bajo presión
- Desplazamiento de la masa

a) Movimiento del material



$$V = S \times L$$

Donde:

V = Volumen roca

S = Dimensión de sección (m²)

L = Longitud de taladro (m)

b) Tonelaje

$$T = V \times \rho$$

Donde:

T = Tonelaje de roca

V = Volumen de roca

ρ = Densidad de roca, típicamente 1,5 – 2,5

c) Numero de cartuchos por taladro

Relacionando la longitud de la carga con la longitud taco en el agujero perforado, tenemos

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{2/3 \times L}{Le \times 0.85}$$

Donde:

N° cartuchos = Cartuchos totales por taladro

L = Longitud de taladro perforado (m)

Le = Longitud de explosivo (cartucho)



0,80 = Factor de corrección por confinamiento

d) Cantidad de carga

$$(Qt) = V \times Kg/m^3$$

Donde:

V = Volumen grato (m³)

kg/m³ = Carga (m³)

e) Carga promedio por taladro

$$Qt/N^{\circ} \text{ tal.}$$

Donde:

Qt = Total carga explosivo (kg)

N^o tal. = Numero de taladros

En la práctica, para distribuir la carga explosiva, de modo que el corte o cual sea reforzado, se incrementa de 1,3 a 1,6 veces la “carga promedio” en los taladros del arranque, disminuyendo en proporción las cargas en los cuadrantes y alzas (que son lo que menos trabajan, ya que actúan por desplome) (Taípe y Marcañaupa, 2015).

f) Numero de taladros por sección

$$N^{\circ} \text{ Tal.} = (R/C) + (K \times S)$$

Donde:

R = circunferencia de seccion (m)



C = Distancia entre taladros de circunferencia (m)

0,5 roca compacta

0,6 roca regular (ejemplo andesita)

0,7 roca blanda

K = Coeficiente

2 para roca compacta

1,5 para roca regular

1 para roca blanda

g) Cantidad de factor de carga

En función de la sección de la labor y de la dureza de la roca, se adquiere el valor medio en kg de explosivos utilizados por m³ de roca desplazada por metro de avance, siendo los siguientes casos para rocas intermedias:

a. 1 – 5 m² : 2,2 – 1,8 kg/m³

b. 5 – 10 m² : 1,8 – 1,4 kg/m³

c. 10 – 20 m² : 1,4 – 1 kg/m³

d. 20 – 40 m² : 1 – 0,8 kg/m³

Tabla 5

Constante del tipo de roca "K"

Tipo de roca	Constante "K"
R. muy compacta	1,0
R. compacta	1,50
R. regular	2,0
R. blanda	2,50
R. muy blanda	3,0

Fuente: EXSA (2009)

2.2.18 Mecanismos de rotura de la roca

Cuando se activa una carga explosiva dentro de una roca, la tensión resultante a efectuarse en dos etapas activas (López, 2014):

1^{ra} etapa: Una fuerte colisión se produce por una onda de choque combinada con energía de tensión durante un corto período de tiempo.

2^{da} etapa: Los gases generados después de la zona de reacción son activos y son portadores de energía termodinámica o de burbujas a alta presión y temperatura (López, 2014).

Trituración de la roca

Durante los primeros momentos de la explosión, la presión frente a la onda de choque de expansión cilíndrica alcanzó un valor que superó significativamente la resistencia dinámica a la compresión de la roca, provocando la destrucción de la estructura intercrystalina e intergranular (Hagan, 1977).



Según Hagan (1977) este mecanismo de rotura consume casi el 30% de la energía que transporta la onda de choque, colaborando en la fragmentación de la roca con un volumen muy pequeño, del orden del 0,1% del volumen total que corresponde al arranque normal de un barreno.

Agrietamiento radial

Durante la propagación de la onda de choque, la roca alrededor del barreno es sometida a una fuerte compresión radial, lo que provoca la aparición de elementos de tracción en los planos tangenciales del frente de onda. Cuando la tensión supera la resistencia a la tracción dinámica de la roca, comienza a formarse una zona de falla radial densa alrededor de la zona de falla que rodea el barreno. (Perez, 2018).

Fracturamiento por liberación de carga

“Antes de que la onda de choque alcance el frente libre efectivo, la energía total transferida a la roca por la compresión inicial varía entre el 60 y el 70% de la energía de la voladura” (Cook *et al.* 1966). La energía de tracción acumulada se libera muy rápidamente, creando tensiones de tracción y de cizallamiento que destruyen la masa rocosa. Esto afecta la masa masiva de la roca, no solo frente a los taladros, sino incluso detrás del corte de explosión.

Rotura por colisión

Los fragmentos de roca se forman por mecanismos previos y se dispersan por los gases lanzados a la superficie libre, chocan entre sí, provocan una fragmentación adicional.



Además, una explicación sencilla y generalmente aceptada es un proceso que se da en varios pasos o etapas, ocurriendo casi simultáneamente en un tiempo extremadamente breve, de unos pocos milisegundos, durante los cuales se produce la detonación completa de una carga cerrada, incluso desde el momento de la explosión comienza a triturar hasta que el material se disperse por completo (Perez, 2018).

2.3. GEOMECANICA

La geomecánica ayuda a determinar el nivel de calidad del macizo rocoso, teniendo en cuenta las características de la matriz y las discontinuidades, para facilitar las características de intensidad global. Estas teorías se ocupan principalmente de dos: la mecánica de rocas y la mecánica de suelos.

Generalmente este comportamiento geomecanico depende de los siguientes factores: resistencia de la roca, grado de fracturación del macizo rocoso y la resistencia de las discontinuidades (Calderón, 2015).

Índice de calidad de roca (RQD)

Este método fue desarrollado por Deere entre 1963 y 1967 para cuantificar la calidad del macizo rocoso con respecto a núcleos de perforación.

En dichos núcleos deben tomarse una sección de 100 cm donde se medirá el porcentaje de piezas de núcleo intacto mayores a 10 cm de longitud, que se suman y se dividen por la longitud total del núcleo. Este método debe ser utilizado siempre y cuando la perforación sea suficientemente cuidadosa para que no cause fracturas al núcleo por si solas. (Bieniawski, 1989).



Rock Mass Rating (RMR)

Este sistema fue presentado por el profesor Bieniawski en 1973, y actualizado en 1989. Este sistema clasifica a los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, y la sumatoria de estos indica su valoración, se tiene en cuenta seis parámetros a saber:

- La resistencia a la compresión uniaxial.
- RQD
- Espacio de discontinuidades
- Condición de las discontinuidades (apertura, relleno, meteorización, persistencia y rugosidad).
- Orientación de las discontinuidades.
- Presencia de agua. (Celada, Tardaguila, Rodríguez, Varona y Bieniawski, 2014).

Índice geológico de resistencia GSI de Hock y Marinos

En este criterio, para definir la estructura de la masa rocosa, se considera por un lado el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, según esto, se toman en cuenta las siguientes cinco categorías de fracturamiento. (Mining Rock., 2011).

- concentrado o ligeramente rota (CR).
- Moderadamente rota (R).
- Muy rota (MR).
- Intensamente rota (IR).
- Triturada (T).



2.4. DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. malla de perforación

Son líneas de pintura que son graficadas geométricamente en un frente de macizo rocoso a volar mediante modelos matemáticos (relación burden y espaciamiento), que son marcadas en el frente para guiar a los perforistas. Para cada tipo de roca se puede realizar un diseño de malla, empezando con el arranque.

2. Perforación en breasting

Es la perforación horizontal con la cara libre en la parte inferior de la geometría de la malla. Tiene el propósito de generar una abertura en la roca para así alojar explosivos y sus accesorios.

3. Yacimiento

Son depósitos o concentraciones naturales de rocas o minerales rentables, en la cual generalmente se realizan operaciones mineras.

4. Voladura

La voladura es un proceso donde las presiones son generadas por los explosivos confinados dentro de los taladros perforados en el macizo rocoso, causando una energía de choque, para lograr fracturar el macizo rocoso.

5. Macizo rocoso

Es el conjunto de matriz rocosa y discontinuidades. Generalmente se presentan de carácter heterogéneo, anisotrópicos y de comportamiento continuo, que condicionan su comportamiento geomecánico e hidráulico.



6. Explotación

Son labores de explotación que son realizadas de manera subterránea o superficial. Con el objetivo de extraer minerales rentables.

7. Frente

Son lugares donde se realizan las operaciones de perforación y voladura que se corren en mineral o material estéril. También nos sirven para el movimiento del personal y máquinas perforadoras.

8. Parámetros

Son los diferentes procesos de las operaciones mineras, los cuales son gestados mediante resultados y rendimientos.

9. Burden

Distancia que inicia del barrenado hasta el frente libre de la roca, medida perpendicularmente al eje del taladro. El burden depende básicamente del diámetro de perforación, de las características de las rocas y propiedades del explosivo a emplear.

10. Espaciamiento

Es la distancia entre los taladros cargados con explosivos que se disparan en la misma fila o de una misma área de influencia en una geometría de malla de perforación para generar la voladura.

11. Explosivos

Son compuestos químicos o mezclas químicas que guardan una enorme energía, estos reaccionan sensiblemente a los fulminantes o a cualquier estímulo externo



causando una reacción química violenta. Estos se encuentran en un rango amplio de químicos. Existen una variedad de explosivos con características diferentes según se requieran.

12. Factor carga

Es la medida a utilizar explosivos empleada para volar un macizo rocoso específico.

13. Costos operativos

Los costos operativos se definen como aquellos costos que ocurren continuamente a lo largo del proceso de producción y están directamente relacionados con la actividad productiva.

14. Rendimiento

En una empresa, el desempeño se refiere a los resultados deseados realmente logrados por cada unidad de desempeño, y el término "unidad" puede referirse a un individuo, grupo, departamento o grupo de organizaciones.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de la concesión minera Achanizo E.I.R.L. - Arequipa, está ubicada al NW de la Quebrada Huaccyaco, políticamente pertenece al Distrito de Chaparra, Provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, aproximadamente a 40 km. Al NE de la localidad de Chala, (Hoja Chala 32-ñ) y una elevación promedio de 1 850 m.s.n.m.

- Distrito : Chala
- Provincia : Caravelí
- Departamento : Arequipa

3.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN

El área de investigación está enmarcada en las siguientes coordenadas UTM PSAD 56 (V1: 8 268 000.00 N – 604 000.00 E, V2: 8 267 000.00 N – 604 000.00 E, V3: 8 267 000.00 N – 602 000.00 E, V4: 8 268 000.00 N – 602 000.00 E) y WGS 84 (V1: 8 267 629.44 N – 603 777.86 E, V2: 8 266 629.43 N – 603 777.88 E, V3: 8 266 629.43 N – 601 777.92 E, V4: 8 267 629.43 N – 601 777.89 E) analíticas proporcionadas para las Concesiones Mineras y Cerro Reyes 5, de las agencias de Catastro Minero Nacional del Ministerio de Energía y Minas del Perú.

3.3. ACCESO A LA MINA

El acceso al área de la concesión desde la ciudad de Arequipa es a través de caminos pavimentados y no pavimentados. Esto se realiza de acuerdo al siguiente itinerario:

Tabla 6*Accesibilidad a la mina*

Tramo	Descripción	km	Tiempo
Arequipa – Chala	Carretera	634,00	8,30
	Panamericana		Horas
Chala – Cruce carretera a Chaparra	Carretera	10,00	10,00
	Panamericana		Minutos
Cruce carretera a Chaparra - Trocha a Cerro Reyes 5	Carretera Asfaltada	4,5	6,00
			Minutos
Trocha a Cerro Reyes – “Mina Reyes 5”	Carretera Afirmada	25,6	1,15 Horas

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es del tipo descriptiva y cuantitativa, de causa y efecto, ya que desde el inicio del estudio se efectúa una descripción específica de la situación anterior de los parámetros de perforación y voladura en cuanto a eficiencias (descriptiva), para luego analizar y determinar el diseño de la malla de perforación y selección del tipo y cantidad de explosivos a utilizar hasta encontrar el diseño aceptable para incrementar la eficiencia en perforación y voladura, dado que existen problemas en perforación y voladura (causa), el efecto es incrementar la eficiencia en perforación y voladura, resultados que se adquieren al finalizar la explosión en la ejecución del frente de la galería 1 850W de la minera Achanizo E.I.R.L. (Apaza, 2020).



Cuantitativo debido a que el sistema de medición en la ejecución del frente de la galería 1 850W es en metros, lo cual se mide la distancia del avance lineal con la malla actual a través de un análisis de eficiencia después de cada disparo en la ejecución del frente de la galería 1 850W de la minera Achanizo E.I.R.L.

3.5. DISEÑO METODOLÓGICO

De acuerdo a las características del estudio de investigación es del tipo experimental, dado que se manipulan intencionalmente las variables independientes para analizar y verificar los efectos que se da en las variables dependientes.

La metodología para la realización del estudio de investigación se inició evaluando las operaciones unitarias de perforación y voladura anterior en la ejecución del frente de la galería 1 850W, se realizó reportes de avance efectivo, malla de perforación, número de taladros, burden, espaciamiento, selección y uso adecuado de explosivos, para así analizarlos y luego incrementar la eficiencia en perforación y voladura (Choque, 2017).

Estas evaluaciones serán necesarias para analizar, hasta obtener resultados óptimos para incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1 850W, en una primera etapa se realizaran pruebas durante 11 días que son equivalentes a 22 guardias para una sección de 1,8 m x 2,1 m., analizando estos resultados se obtendrá las primeras conclusiones y se verificaran si son óptimos o no, hasta lograr los objetivos de la presente investigación (Larijo, 2019).



3.6. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1. Población

La población está integrada por las labores subterráneas de la galería 1850W y la galería 780E que se encuentran en el nivel 1850 m.s.n.m. donde se encuentra la veta María de la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa (Anchapuri, 2021).

3.6.2. Muestra

La muestra para el estudio de investigación está integrada por el frente de la galería 1 850W, que tiene una sección de 1,8 m. x 2,1 m., y una longitud de 150 metros, ejecutadas en una roca de tipo caliza de la empresa Minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa (Palma, 2019).

3.6.3. Muestreo

Para el presente estudio de investigación se utilizó el método de muestreo no probabilístico. Esto debido a la facilidad y la gran información que se pudo obtener durante el estudio. Además que será de gran importancia la participación de los empleados que laboran en la empresa.

3.6.4. Tamaño de muestra

El tamaño de muestra abarcara toda la sección y el avance que está proyectado en la ejecución del frente de la galería 1 850W, la sección es de 1,8 m x 2,1 m., con un avance proyectado de 300 metros que serán desarrolladas en dos etapas de 150 metros.



3.7. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

El procedimiento que se utilizó para el estudio de investigación fue en tres etapas de las cuales se describen a continuación:

a) Primera etapa: se inició con la descripción y recopilación de información necesaria para desarrollar el presente estudio de investigación, estos datos fueron muy importantes pues nos dieron la información de cómo fue la actualidad de la operaciones al inicio de la ejecución del frente de la galería 1 850W. Los datos a obtener serán:

- Descripción del área: labor, diseño, sección del frente.
- Parámetros de la roca: tipo de roca, RQD, RMR, GSI, densidad de la roca.

b) Segunda etapa: en esta etapa se analizaran los parámetros de perforación y voladura. Estos serán:

- Parámetros de perforación: control de tiempos, numero de taladros, avance efectivo.
- Parámetros de voladura: selección de explosivos, presión de detonación, resistencia al agua, densidad, dimensiones.

c) Tercera etapa: una vez analizados todos estos datos y parámetros se iniciaron a elaborar el estudio de investigación los cual nos dio la oportunidad de replantear el nuevo diseño de malla y además nos ayudó a tener un mejor control de tiempos para así incrementar la eficiencia en perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W.



3.8. VARIABLES

3.8.1. Variable independiente

Rediseño de la nueva malla de perforación y voladura para el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L.

3.8.2. Variable dependiente

Incrementar la eficiencia en perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L.

3.9. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de variables.

VARIABLES	INDICADORES	ESCALA DE DIMENSIÓN
Variable independiente	- Burden	- Metros
Rediseño de la nueva malla de perforación y voladura para el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L. Arequipa.	- Espaciamiento - Cantidad de taladros - Sección de la galería	- Metros - Pies perforados - Metros cuadrados



Variable dependiente	- Avance por disparo	- Metros
Incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.	- Factor carga - Factor potencia - Factor carga lineal - Control de tiempos	- Kg/m ³ - Kg/Tm - Kg/m - Horas/minutos/segundos

3.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados alcanzados en el presente estudio de investigación están relacionados a las operaciones de perforación y voladura que se realizan en el frente de la galería 1 850W, los cuales nos ayudaron a identificar los errores que se cometen tanto en perforación como en voladura, los mismos que tienen como objetivos dar soluciones para estos problemas de investigación y posteriormente incrementar su eficiencia.

3.11. TÉCNICAS DE OBTENCIÓN DE DATOS

Las técnicas para obtener los datos se realizaron de la siguiente manera:

3.11.1. Técnicas

Las técnicas de obtención de datos se realizó de la siguiente manera, observando todo el proceso de perforación y voladura, obteniendo así todo el reporte diario de los trabajadores de cada guardia en el área de operaciones, para así posteriormente analizar las deficiencias en lo que es perforación y voladura, y así dar alternativas de solución para incrementar la eficiencia de perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W.



3.11.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron fueron: un cuaderno de apuntes para tomar nota de todas las observaciones que surgieron durante la jornada laboral, lapicero, reloj, cronometro, fotografías, etc.

Los datos que se tomaron en el frente de la galería 1 850W son:

- Malla de perforación
- Cantidad de taladros
- Uso de explosivos
- Estabilidad de las labores
- Sobre rotura
- Control de tiempos
- Producción diaria
- Avance diario
- Eficiencia de perforación y voladura

3.11.3. Materiales

Los materiales y equipos necesarios a emplear en este estudio de investigación fueron:

- Equipo de cómputo (Laptop)
- Escritorio
- Cámara fotográfica
- Lámparas
- Fotografías



- Cuaderno de apunte
- Lapiceros
- Reloj, etc.

3.12. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

El tipo de estadístico para este estudio es inferencial, la elaboración de la presente investigación se realiza en dos etapas fundamentales en:

3.12.1. Trabajo en campo

Consiste en recolectar toda la información y registro de datos con respecto a la perforación y voladura en el frente de la galería 1850W en la minera Achanizo E.I.R.L., para realizar una nueva malla de perforación y obtener el incremento de la eficiencia en perforación y voladura.

3.12.2. Trabajo en oficina

Este consiste en el análisis de los parámetros, evaluación de datos y redacción de la tesis.

3.13. MÉTODOS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para obtener un mejor detalle de estos gráficos estadísticos se utilizaron software mineros así como:

- MS Word
- Base de datos
- MS Excel
- AutoCAD



Luego de obtener todas las observaciones y datos del proyecto, estos fueron importados a los programas y/o software mineros para así obtener una mejor visualización y llegar a mejores conclusiones para incrementar la eficiencia en perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1. RESULTADO PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

Diseñar la nueva malla de perforación aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg que incrementó la eficiencia de perforación en el frente de la galería 1850W en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

Los resultados de los avances de las operaciones de perforación y voladura han sido un poco atractivos para la empresa. Lo cual es muy importante incrementar la eficiencia en perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W, en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

Lo cual se tuvo que tomar factores importantes a considerar para lograr una perforación y voladura eficiente, estos son:

- Una adecuada malla de perforación, teniendo en cuenta las condiciones geológicas y ambientales del frente.
- Realizando una adecuado cálculo de burden y espaciamiento, así como también la distribución de los taladros, lo cual emplearemos las fórmulas del modelo matemático de Roger Holmberg.
- Utilizando y seleccionando la cantidad adecuada de explosivos.
- Avance lineal
- Área de la sección del frente.

4.1.1.1. Seguimiento y análisis de perforación y voladura anterior en el frente de la galería 1 850w

Para realizar el incremento de eficiencia de perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W se tuvo que realizar un seguimiento y análisis a las operaciones de perforación y voladura anterior, la cual se tiene un avance promedio de 0,95 m/dips., en este análisis se especificaran el avance lineal, el diseño de malla de perforación, el control de tiempos de perforación, la cantidad de explosivos a utilizar y los costos de perforación y voladura antes de la investigación.

4.1.1.2. Reporte del avance lineal del frente de la galería 1 850W

Iniciado las operaciones de perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W, en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, los reportes de avance lineal durante 21 días fueron estos, ver Tabla 8:

Tabla 8

Reporte de avance por guardia anterior

Día	Lugar	Avance por disparo guardia “A”	Avance por disparo guardia “B”	Total avance por metro lineal por día
5/04/2020	Frente 1 850W	0,97	0,96	1,93
6/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,96	1,92
7/04/2020	Frente 1 850W	0,98	0,95	1,93
8/04/2020	Frente 1 850W	0,95	0,97	1,92



9/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,98	1,94
10/04/2020	Frente 1 850W	0,94	0,95	1,89
11/04/2020	Frente 1 850W	0,97	0,94	1,91
12/04/2020	Frente 1 850W	0,98	0,97	1,95
13/04/2020	Frente 1 850W	0,95	0,98	1,93
14/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,96	1,92
15/04/2020	Frente 1 850W	0,97	0,95	1,92
16/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,94	1,90
17/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,94	1,90
18/04/2020	Frente 1 850W	0,95	0,94	1,89
19/04/2020	Frente 1 850W	0,94	0,95	1,89
20/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,96	1,92
21/04/2020	Frente 1 850W	0,95	0,96	1,91
22/04/2020	Frente 1 850W	0,97	0,97	1,94
23/04/2020	Frente 1 850W	0,95	0,98	1,93
24/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,95	1,91
25/04/2020	Frente 1 850W	0,96	0,97	1,93

4.1.1.3. Diseño de malla anterior

En la malla de perforación anterior no se realizó un adecuado estudio geomecánico del macizo rocoso, además carece del cálculo del burden y espaciamiento, lo cual hace que nuestra perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W, no sea tan eficiente como se espera, esta malla de perforación está compuesta de 28 taladros (26 de producción y 2 de alivio). Ver la Tabla 9 y Figura 14:

Tabla 9

Distribución de taladros anterior

Inventario	N° de taladros
Alivio	2
Arranque	4
Ayuda arranque	4
1 ^{er} Ayuda cuadradores	4
2 ^{da} Ayuda cuadradores	4
Cuadradores	3
Alzas	4
Arrastre	3
Total	28

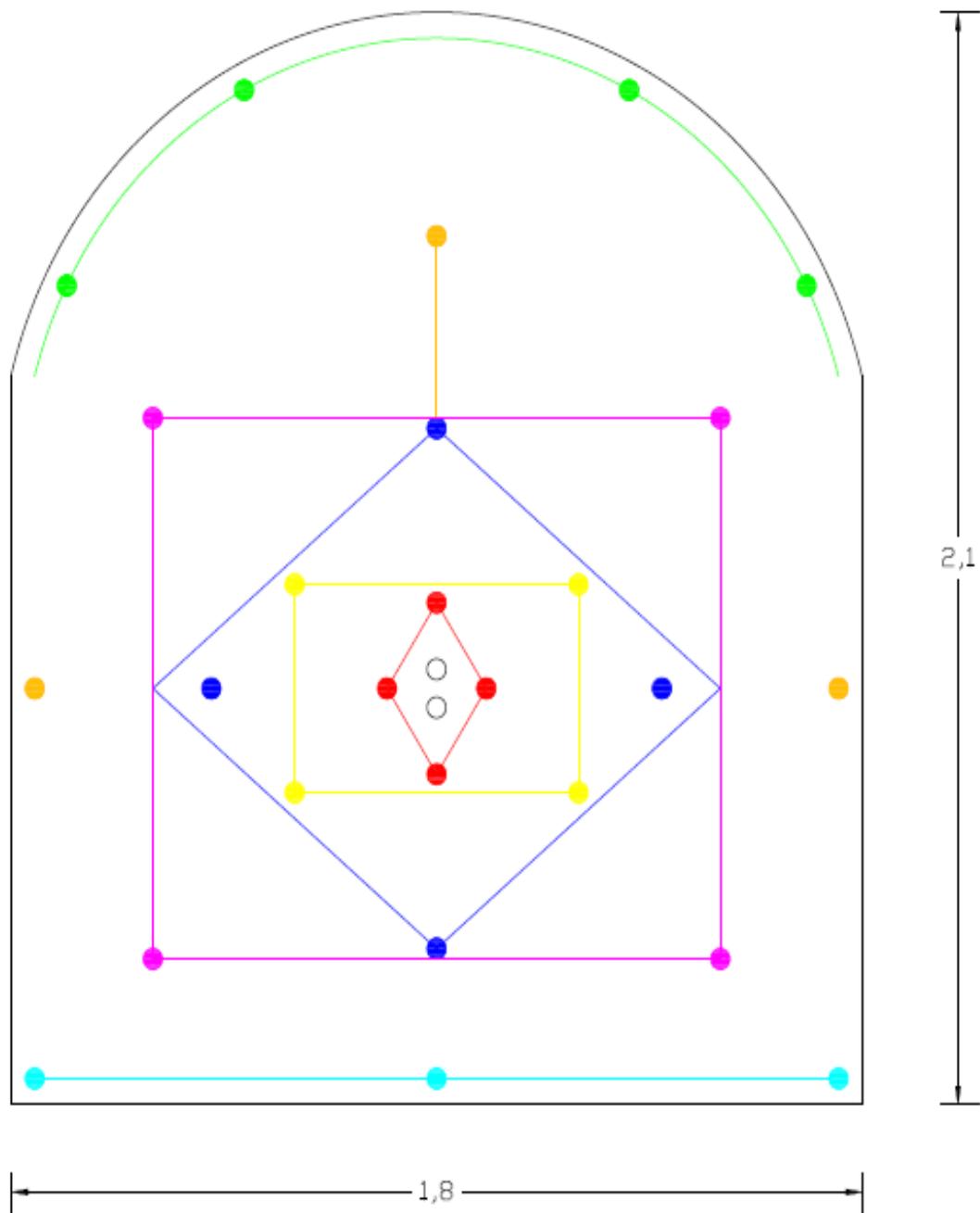


Figura 14. Diseño de malla anterior.

4.1.1.4 Resumen de control de tiempos de perforación anterior

Los tiempos de perforación anterior en el frente de la galería 1 850W se detallan en la siguiente tabla. Estos tiempos están dado por Hora: minuto: segundo (h: m: s), ver Tabla 10:



Tabla 10

Resumen de control de tiempos de perforación anterior.

Inventario	Taladros	Tiempo de	Tiempos	Total tiempo
		perforación	muertos de	perforación
		h : m : s	perforación	h : m : s
Alivio	2	00:02:25	00:00:15	00:05:20
Arranque	4	00:01:55	00:00:10	00:08:25
Ayuda arranque	4	00:02:25	00:00:08	00:10:12
1 ^{er} ayuda cuadradores	4	00:03:10	00:00:06	00:13:04
2 ^{da} ayuda cuadradores	4	00:03:20	00:00:07	00:13:48
Cuadradores	3	00:02:50	00:00:11	00:09:14
Alzas	4	00:03:45	00:00:10	00:15:40
Arranque	3	00:03:25	00:00:16	00:11:03
Total	28			01:26:46

Haciendo todo el seguimiento y control de perforación obtenemos los siguientes parámetros, ver Tabla 11:

Tabla 11*Resumen de los parámetros de perforación anterior.*

Resumen obtenidos de los parámetros de perforación		
N° de taladros perforados	28	Tal.
Longitud de perforación/Taladro	0,95	Mts.
Longitud total perforado	26,6	Mts.
Tiempo promedio de perforación/Taladro	00:02:23	Hora:Minuto:Segundo
Tiempo total de perforación del frente	01:26:46	Hora:Minuto:Segundo

4.1.1.5. Voladura anterior en el frente de la galería 1 850W

El uso excesivo de explosivos utilizados en nuestra voladura anterior hace que nuestra eficiencia no sea tan agradable, esto se debió al escaso conocimiento del comportamiento del macizo rocoso y la selección del tipo de explosivo en el frente de la galería 1 850W de la minera Achanizo E.I.R.L.

4.1.1.6. Reporte del consumo de explosivos de la voladura anterior

Tabla 12*Reporte de consumo de explosivo famesa semigelatina 65 % anterior.*

Inventario	N° Taladros	N° de cart/taladro	Total de cartuchos	Peso de cart. (Kg)	Peso total (Kg)
Alivio	2	----	----	----	----
Arranque	4	4	16	0,081	1,29



Ayuda arranque	4	4	16	0,081	1,29
1 ^{er} ayuda cuadradores	4	4	16	0,081	1,29
2 ^{da} ayuda cuadradores	4	4	16	0,081	1,29
Cuadradores	3	4	12	0,081	0,97
Alzas	4	4	16	0,081	1,29
Arrastre	3	4	12	0,081	0,97
Total	28		104		8,36

Obteniendo estos resultados, calculamos los siguientes parámetros:

- **Área de la sección**

$$S = b \times h$$

Donde:

S = Área de la sección (m²)

b = Base de sección (m)

h = Altura de sección (m)

$$S = 1,8 \times 2,1$$



$$S = 3,78 \text{ m}^2$$

- **Volumen roto**

$$V = S \times L_p$$

Donde:

$$V = \text{Volumen roto (m}^3\text{)}$$

$$S = \text{Área de sección (m}^2\text{)}$$

$$L_p = \text{Longitud perforado (m)}$$

$$V = 3,78 \times 0,95$$

$$V = 3,6 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje roto**

$$T_m = V \times D_r$$

Donde:

$$T_m = \text{Tonelaje del material roto}$$

$$V = \text{Volumen roto}$$

$$D_r = \text{Densidad de la roca}$$

$$T_m = 3,6 \times 2,70$$

$$T_m = 9,72 \text{ TM}$$

- **Factor de carga**



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

$$F_c = \frac{8,36}{3,6}$$

$$F_c = 2,3 \text{ Kg/m}^3$$

- **Factor de carga lineal**

$$F_{cl} = \frac{Kg\text{-explosivo}}{metrol\ lineal}$$

$$F_{cl} = \frac{8,36}{0,95}$$

$$F_{cl} = 8,71 \text{ Kg/m}$$

- **Factor de potencia**

$$F_p = \frac{Kg\text{-explosivo}}{Toneladas\ rotas}$$

$$F_p = \frac{8,36}{9,72}$$

$$F_p = 0,86 \text{ kg/tm}$$

- **Eficiencia de voladura**

$$\text{Eficiencia de voladura} = \frac{\text{Avance real}}{\text{Longitud del taladro}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de voladura} = \frac{0,96}{1,11} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de voladura} = 86,5 \%$$

Tabla 13*Parámetros de voladura anterior.*

Parámetros adquiridos de la voladura anterior	
Inventario	Resultado
Avance Promedio	0,95 m
Volumen	3,6 m ³
Toneladas rotas	9,72 tm
Factor de carga	2,3 kg/m ³
Factor de carga lineal	8,71 kg/m
Factor de potencia	0,86 kg/tm
Eficiencia de voladura	86,5 %

4.1.1.7. Reportes de costos de perforación y voladura anterior**Tabla 14***Costos de perforación y voladura anterior***a) Mano de obra**

Tipo de cambio s/. \$ 3.45

Obreros	Hrs x Disp	Tareas	Jornal S/.	Jornal \$	Costo \$ x Disp
Perforista	8	1	45,00	13,64	13,64
Ayudante Perforista	8	1	40,00	12,12	12,12
Winchero	8	1	40,00	12,12	12,12
Sub – total	24	3,00			37,88
Leyes sociales	98,24%				37,21
Total obreros					75,09



b) Equipo de perforación

Inventario	P.U.\$	Repuestos	V. Útil	Pie perf.	Costo \$ x pie perf.
Maquina perf. (jackleg)	1350	100%	50000	112	3,02
				112	3,02

Inventario	P.U. \$	Repuestos	V. Útil	Trabajo x día 1 disp.	Costo \$/Disp.
Dampers	3658,5	100%	720	1	5,08
				1	5,08

c) Equipo de protección personal (EPP)

Inventario	Unidad	Cantidad	Precio \$	V. Útil	Costo \$ x Disp.
Protector	Pza.	3	5,49	300,00	0,06
Respirador 3M	Pza.	3	25,91	180,00	0,44
Filtro de respirador	Par.	3	10,97	15,00	2,19
Tapón de oídos	Par.	3	3,00	120,00	0,08
Lámpara de batería KLM + cargador	Pza.	3	60,67	120,00	1,52
Guantes de cuero	Par.	3	5,48	20,00	0,82



Correa porta lámparas	Pza.	3	5,64	300,00	0,06
Mameluco	Pza.	3	16,77	180,00	0,28
Ropa de jebe	Pza.	2	19,88	120,00	0,33
Bota de jebe	Par.	2	19,81	180,00	0,22
Arnés	Pza.	1	39,5	120,00	0,33
Línea de vida	Pza.	-	36,17	120,00	0,00
Zapato Punta acero	Par.	3	20,91	180,00	0,35
Total implementos de seguridad					6,68

d) Materiales de perforación

Barrenos	Cant.	Precio \$	V. Útil	p.p.	Costo \$ x Disp.
Barra cónica de 4 pies	1	94,51	1500	112	7,06
Broca de 38 mm	1	21,34	500	112	4,78
Total barrenos					11,84

Mangueras y Accesorios	Unidad	Cantidad	Precio \$	V. Útil	Costo \$ x Disp.
Manguera de 1/2"	Metros	20	2,23	150	0,30
Manguera d 1"	Metros	20	3,65	120	0,61



Aceite de perforación	Galones	0,18	9,07	1	1,63
-----------------------	---------	------	------	---	------

Total mangueras y accesorios	2,54
------------------------------	------

E) Herramientas y materiales

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio \$	V. Útil	Costo \$ x Disp.
Lampas	Pza.	1	11,97	30	0,40
Picos	Pza.	1	11,97	30	0,40
Llave Stilson 14"	Pza.	1	8,38	120	0,07
Alambre de amarre	Kg.	0,25	0,38	1	0,10
Barretillas	Pza.	2	3	30	0,20
Cucharilla	Pza.	1	5,5	60	0,09
Atacador de madera	Pza.	1	2,4	30	0,08
Total herramientas					1,34
Sub total de costos directos					108,12
Utilidad		0,00%			0
Imprevistos			15%		16,22
Costo x disparo					124,34



f) Materiales de voladura

Explosivos	Unidad	Taladro	Cantid ad	Precios \$	Costo \$ x Disp
Dinamita semigelatinosa 65% 7/8	Cartuchos	26	4	0,39	40,56
Guía de Seguridad	6 pies	26	1	0,29	7,54
Fulminante Común N° 8	Unidad	26	1	0,26	6,76
Total Explosivos					54,86
Costo total por disparo					179,2

4.1.2. Elaboración del nuevo diseño de malla de perforación

Sin duda una de las operaciones más fundamentales en el ciclo de minado es la perforación y voladura ya que con una mala geometría del diseño malla de perforación nos ocasiona retrasos en el ciclo de minado, afectando todo el proceso operacional de la mina así como el desatado, regado, limpieza, acarreo y sostenimiento, es por eso que es muy importante replantear un nuevo diseño de malla y así cumplir con el avance diario programado.

Sin embargo, todas las actividades de perforación y voladura para minería subterránea deben llevarse a cabo de acuerdo con las normas de seguridad y operación, para garantizar un entorno de trabajo seguro y eficiente.



Para lo cual se replantea un nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1 850W con la distribución adecuada de los taladros, usando una adecuada cantidad de explosivos y sobre todo calculando adecuadamente burden y espaciamiento, garantizando así un incremento de eficiencia en perforación y voladura.

Estos cálculos de los parámetros de perforación fueron realizados mediante el método de la teoría de roger holmberg.

Los datos que se obtuvieron del frente de la galería 1 850W son:

Sección del frente	: 1,8 m x 2,1 m.
Tipo de roca	: Caliza
Equipo de perforación	: JACKLEG YT27
Longitud de barreno	: 1,20 m (4 pies)
Diámetro de la broca	: 38 mm
Densidad de la roca	: 2,7 TM/m ³
Explosivo	: Dinamita semigelatina 65%
Características técnicas de la dinamita semigelatina 65%	
Densidad relativa	: 1,14 gr/cm ³
Velocidad de detonación	: 3700 m/s
Presión de detonación	: 83 Kbar
Volumen normal de gases	: 910 l/kg



4.1.2.1. Cálculo de los parámetros del nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la galería 1 850W

Para iniciar el cálculo, primero determinamos la longitud perforada, que está en función al diámetro perforado, según nos indica el modelo matemático de Roger Holmberg.

Cálculo del avance por disparo

De acuerdo a Holmberg en este cálculo para el taladro vacío desarrollaremos la longitud del taladro (H), y el avance efectivo de la voladura (I) que va ser al 95%. De nuestros datos que obtuvimos emplearemos un diámetro de 0,038 m.

Longitud de taladro (H)

Para este cálculo utilizaremos la siguiente fórmula indicada por Roger Holmberg.

$$H = 0,15 + 34,1 \times \emptyset - 39,4 \times \emptyset^2$$

$$H = 0,15 + 34,1 \times (0,038) - 39,4 \times (0,038)^2$$

$$H = 1,39 \text{ m.}$$

Avance efectivo de la voladura al 95% (I)

$$I = 0,95 \times H$$

$$I = 0,95 \times 1,39$$

$$I = 1,32$$



4.1.2.2. Cálculo de burden y espaciamento

Seguidamente para calcular en primer burden utilizaremos la siguiente formula $B=1,5 \times \emptyset$, según nos indica (EXSA, 2001), para desarrollar nuestro calculo consideraremos los taladros de alivio que van a ser 2 en nuestra malla de perforación.

1^{er} Burden

$$1^{\text{er}}B = 1,5 \times \emptyset$$

$$1^{\text{er}}B = 1,5 \times (38 \text{ mm} \times 2)$$

$$1^{\text{er}}B = 0,114 \text{ m}$$

1^{er} Espaciamento

Para calcular el espaciamento se utilizara la siguiente formula $E = B1 \times \sqrt{2}$, que también nos indica (EXSA, 2001).

$$1^{\text{er}}E = 1^{\text{er}} B \times \sqrt{2}$$

$$1^{\text{er}}E = 0,114 \times \sqrt{2}$$

$$1^{\text{er}}E = 0,16 \text{ m}$$

2^{do} Burden

$$2^{\text{do}}B = 0,114 \times \sqrt{2}$$

$$2^{\text{do}}B = 0,16 \text{ m}$$

2^{do} Espaciamento

$$2^{\text{do}}E = 1,5 \times 0,16 \times \sqrt{2}$$



$$2^{\text{do}}E = 0,34 \text{ m}$$

3^{er} Burden

$$3^{\text{er}}B = 1,5 \times 0,16 \times \sqrt{2}$$

$$3^{\text{er}}B = 0,34 \text{ m}$$

3^{er} Espaciamiento

$$3^{\text{er}}E = 1,5 \times 0,34 \times \sqrt{2}$$

$$3^{\text{er}}E = 0,72 \text{ m}$$

4^{to} Burden

$$4^{\text{to}}B = 1,5 \times 0,34 \times \sqrt{2}$$

$$4^{\text{to}}B = 0,72 \text{ m}$$

4^{to} Espaciamiento

$$4^{\text{to}}E = 1,5 \times 0,72 \times \sqrt{2}$$

$$4^{\text{to}}E = 1,53 \text{ m}$$

4.1.2.3. Resumen de los cálculos de burden y espaciamiento

En el siguiente cuadro nos indica todo el resumen del cálculo de burden y espaciamiento que debemos utilizar en nuestra nueva malla de perforación, estos resultados nos ayuda a realizar una adecuada geometría en nuestro frente de perforación, además que nos ayuda a incrementar nuestra eficiencia de perforación, ver Tabla 15:

Tabla 15*Resumen de los cálculos de burden y espaciamento*

Sección	Burden (B)	Espaciamento (E)
1 ^{er} Cuadrante	0,114 m.	0,16 mts.
2 ^{do} Cuadrante	0,16 m.	0,34 mts.
3 ^{er} Cuadrante	0,34 m.	0,72 mts.
4 ^{to} cuadrante	0,72 m.	1,53 mts.

Se sabe que estos cálculos de burden y espaciamento no siempre van a ser exactos, pero nos acerca a una geometría de malla de perforación que sea óptimo y aceptable lo cual es de mucha utilidad, estos resultados pueden ser modificables de acuerdo a su aplicación en el campo.

Poco a poco se realizaron ajustes de acuerdo a la disposición de los taladros, burden y espaciamento hasta unificar un nuevo diseño de malla de perforación.

Arranque de cuatro secciones

Habiendo calculado los resultados de burden y espaciamento, para realizar mejor nuestra geometría de malla de perforación, utilizaremos el arranque de cuatro secciones que nos ayudara a obtener mejores resultados en fragmentación y salida satisfactoria de la roca, ver Figura 15:

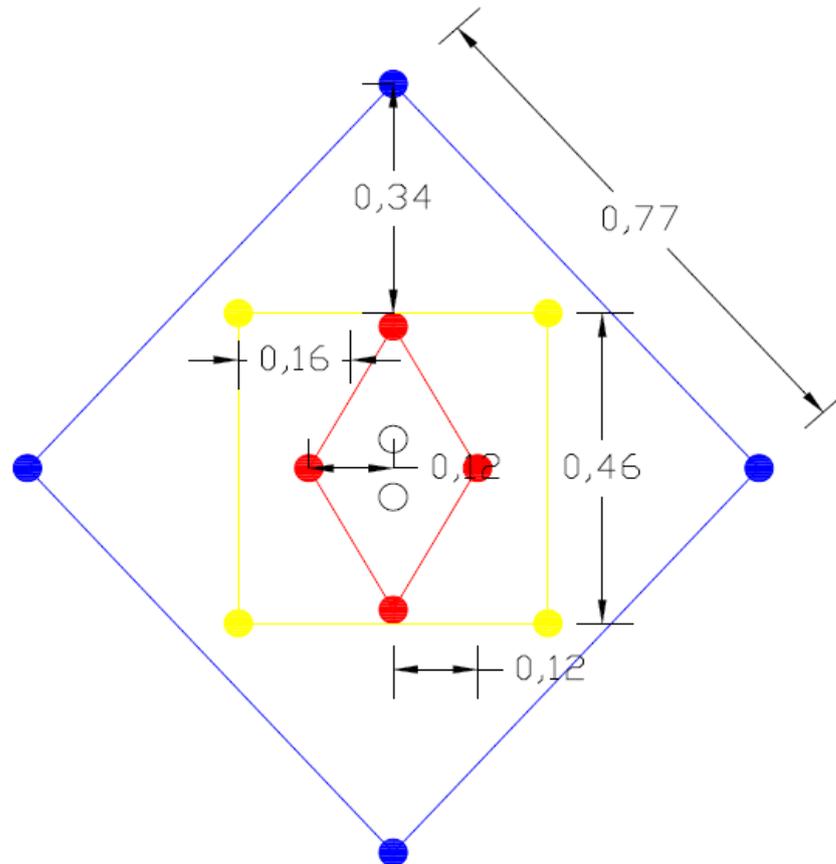


Figura 15. Diseño de arranque calculado.

4.1.2.4 Análisis de perforación

Una de las operaciones más importantes y primera en realizarse en mina es sin duda la perforación que tiene por finalidad abrir una abertura de cara libre, para luego alojar cargas explosivas y sus accesorios de voladura, pero para realizar esta abertura es necesario realizar una adecuada distribución y geometría de la malla de perforación.

Para nuestro frente de la galería 1 850W la perforación se realiza de manera convencional en un área de sección 1,8 m x 2,1 m., con barreno de 4 pies.

Calculo del área de la sección perforada

$$S = B \times H$$

$$S = 1,8 \times 2,1$$



$$S = 3,78 \text{ m}^2$$

Calculo del número de taladros para la sección 1 850W

Para calcular el número de taladros para nuestra investigación se empleó las siguientes fórmulas del manual práctico de voladura EXSA:

$$\text{Numero de taladros} = \frac{P}{dt} + C \times S$$

Dónde:

P = Perímetro de la labor (m)

Dt = Distancia entre taladros

Para la distancia entre taladros existen diferentes rangos para cada tipo de roca, en este caso elegiremos al más cercano de tipo de roca de nuestro frente de avance.

Roca compacta : 0,5 – 0,55 m

Roca regular : 0,6 – 0,65 m

Roca blanda : 0,7 – 0,75 m

Para nuestro cálculo utilizaremos el tipo de roca dura: 0,50

C = Coeficiente o factor de roca

Al igual que la distancia entre taladros, también existen escalas para el coeficiente de roca, para este caso también elegiremos al más cercano de tipo de roca de nuestro frente de avance.

Roca compacta : 2,0



Roca regular : 1,50

Roca blanda : 1,0

Para nuestro cálculo utilizaremos el tipo de roca dura: 2

$S = \text{Área de la sección de la labor}$

$$S = B \times H$$

$$S = 1,8 \times 2,1$$

$$S = 3,78 \text{ m}^2$$

El perímetro lo hallamos de la siguiente manera, que también es propuesta por el modelo matemático de Holmberg.

$$P = 4 \times \sqrt{B \times H}$$

$$P = 4 \times \sqrt{(1,8 \times 2,1)}$$

$$P = 7,78 \text{ m.}$$

Reemplazamos todos los datos obtenidos en nuestra fórmula para hallar el número de taladros y tenemos:

$$\text{Numero de taladros} = \frac{7,78}{0,50} + (3,78 \times 2)$$

$$\text{Numero de taladros} = 23,12 \equiv 24 \text{ taladros}$$

A esto lo aumentamos más 2 taladros de alivio

$$\text{Numero de taladros} = 24 + 2 = 26 \text{ taladros}$$



Resultado para el primer objetivo específico

Distribución de taladros en el nuevo diseño de malla en el frente de la galería

1 850W de acuerdo al modelo de Roger Holmberg.

Al aplicar el nuevo diseño de malla de perforación calculado con el modelo matemático de Roger Holmberg se espera tener un incremento de la eficiencia en perforación, para así lograr mejores resultados en lo que es fracturamiento de rocas, dimensionamiento de la sección, control de sobreroturas y sobre todo lograr la meta de avance por disparo, ver Figura 16 y Tabla 16:

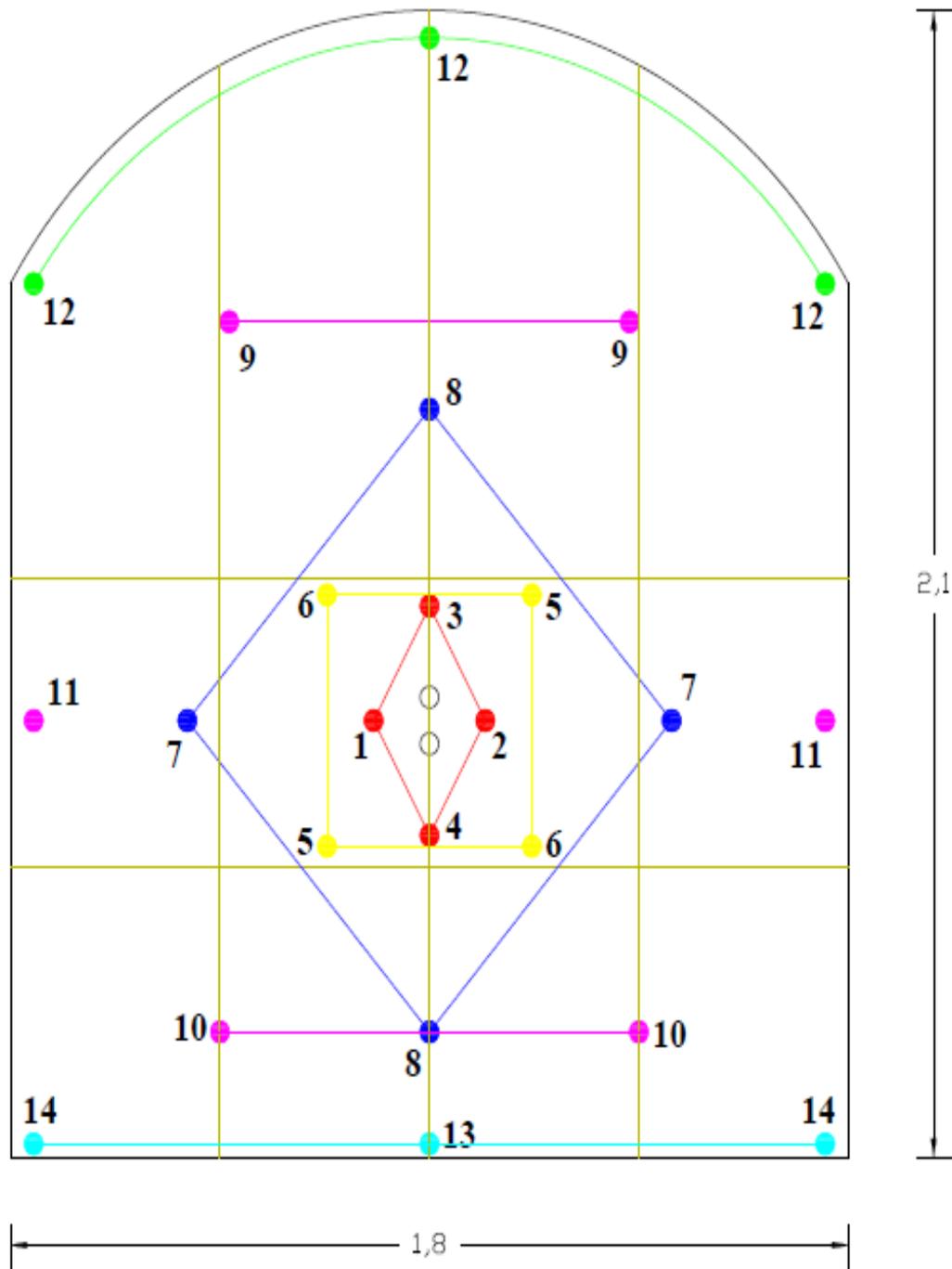


Figura 17. Nuevo diseño de malla por método Holmberg (AutoCAD).



Tabla 16

Distribución de taladros con nuevo diseño de malla.

Inventario	N° taladros
Alivio	2
Arranque	4
Ayuda arranque	4
1 ^{er} ayuda cuadradores	4
Cuadradores	6
Alzas	3
Arrastres	3
Total	26

4.1.2.5 Nuevo control de tiempos de perforación con el nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1 850W.

Obtenido los resultados de burden y espaciamiento y el número de taladros, se realizó un mayor control en el tiempo de perforación, con la finalidad de incrementar la eficiencia y alcanzar nuestras metas de avances por día, ver Tabla 17:

Tabla 17

Tiempos de perforación con nuevo diseño de malla.

Inventario	N° de taladros	Tiempo promedio de perforación	Tiempos muertos de perforación	Tiempo total de perforación
		H : M : S	H : M : S	H : M : S
Alivio	2	00:02:20	00:00:08	00:04:56
Arranque	4	00:02:55	00:00:10	00:12:20
Ayuda arranque	4	00:02:30	00:00:05	00:10:20
1 ^{er} ayuda cuadradores	4	00:03:15	00:00:09	00:13:36
Cuadradores	6	00:03:06	00:00:07	00:19:18
Alza	3	00:02:18	00:00:09	00:07:21
Arrastre	3	00:03:20	00:00:11	00:10:33
Total				01:18:24

Resumen de tiempos de perforación con mayor control fueron, ver Tabla 18:



Tabla 18

Resumen de parámetros de perforación con nuevo diseño de malla.

Resumen de los parámetros de perforación		
Nº de taladros perforados	26	Tal.
Longitud de perforación/Taladro	1,06	Mts.
Longitud total perforado	27,56	Mts.
Tiempo promedio de perforación/Taladro	00:02:42	Hora:Minuto:Segundo
Tiempo total de perforación del frente	01:18:24	Hora:Minuto:Segundo

4.1.3. RESULTADO PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

Aplicando el nuevo diseño de malla de perforación se estandarizó la voladura que permitió el adecuado uso de explosivo, dando como resultado un incremento de la eficiencia en voladura.

4.1.3.1. Análisis de voladura

Para nuestro análisis de voladura se determinó la cantidad adecuada de carga explosiva para el frente de la galería 1 850W, lo cual esto se determinó teniendo en cuenta las propiedades del macizo rocoso y el tipo roca, incluyendo el área de la sección que es de 1,8 m. x 2,1 m., con una eficiencia de avance de 1,06 m, con barreno de 4 pies, el explosivo a utilizar será semigelatina 65%.

- **Área de la sección a perforar**

$$S = b \times h$$



Donde:

$$S = \text{Área de sección (m}^2\text{)}$$

$$B = \text{Ancho de sección (m)}$$

$$H = \text{Ancho de sección (m)}$$

$$S = 1,8 \times 2,1$$

$$S = 3,78 \text{ m}^2$$

- **Volumen roto**

$$V = S \times Lp$$

Donde:

$$V = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$Lp = \text{Longitud de perforación (m)}$$

$$V = 1,8 \times 2,1 \times 1,06$$

$$V = 4,01 \text{ m}^3$$

- **Tonelaje roto**

$$Tm = V \times Dr$$

Dónde:

$$Tm = \text{Tonelaje roto}$$

$$Dr = \text{Densidad de roca } 2,7 \text{ kg/m}^3$$



$$T_m = 4,01 \times 2,7$$

$$T_m = 10,83 \text{ TM}$$

- **Numero de cartuchos por taladro**

Para calcular el número promedio de cartuchos por taladro se realizara según la relación de longitud de carga a longitud de taco.

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{2/3 \times L}{L_e \times 0,80}$$

N° cartuchos = Total de cartuchos por taladro (unidad)

L = Longitud del taladro perforado (m)

L_e = Longitud del explosivo o cartucho (m)

0,80 = 80% longitud de carga por cartucho y 20% menos al ser atacado.

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{2/3 \times 1,06}{0,20 \times 0,80}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = \frac{0,67 \times 1,06}{0,2 \times 0,80}$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = 4,44$$

$$N^{\circ} \text{ cartuchos} = 4 \text{ cartuchos/taladro}$$

4.1.3.2 Distribución de carga por taladro

Tabla 19

Nuevo consumo de explosivos famesa 65 %.

Consumo de explosivo FAMESA 65%					
Inventario	N° de Taladros	N° Cartuchos/ tal.	N° total de cartuchos	Peso de cartucho (Kg)	Peso total (Kg)
Alivio	2	----	----	----	----
Arranque	4	4	16	0,081	1,29
Ayuda arranque	4	4	16	0,081	1,29
1 ^{er} ayuda cuadradores	4	3	12	0,081	0,97
Cuadradores	6	4	24	0,081	1,94
Alza	3	3	9	0,081	0,73
Arrastre	3	4	12	0,081	0,97
Total	26		89		7,19

Algo muy importante que debemos recordar y aplicar en nuestra distribución de taladros es que la cantidad de carga se modifica de acuerdo a la función que realiza cada taladro, ejemplo, jamás se debe utilizar la misma cantidad de explosivo en el arranque y en las alzas puesto que estos afectarían a nuestra sección.



- **Factor de carga**

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

$$Fc = \frac{7,19}{4,01}$$

$$Fc = 1,790\text{ kg/m}^3$$

- **Factor de carga lineal**

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

$$Fcl = \frac{7,19}{1,06}$$

$$Fcl = 6,78\text{ Kg/m}$$

- **Factor Potencia**

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

$$Fp = \frac{7,19}{10,83}$$

$$Fp = 0,66\text{ Kg/TM}$$

- **Eficiencia de voladura**

$$\text{Eficiencia de voladura} = \frac{\text{Avance real}}{\text{Longitud del taladro}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de voladura} = \frac{1,06}{1,11} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de voladura} = 95,5\%$$



Resultado para el segundo objetivo específico

Se estandariza la voladura con la nueva malla de perforación que permite el uso adecuado de explosivos.

Tabla 20

Resumen de los parámetros con el nuevo diseño de malla.

Resumen de los parámetros obtenidos con el nuevo diseño de malla	
Inventario	Unidad de medida
Área de la sección	3,78 m ²
Avance lineal promedio	1,06 m
Volumen	4,01 m ³
Tonelaje	10,83 tm
Factor de carga	1,79 kg/m ³
Factor de carga lineal	6,78 kg/m
Factor de potencia	0,66 kg/tm
Eficiencia de voladura	95,5 %

4.1.3.3 Reporte de avances con el nuevo diseño de malla de perforación

Aplicando el nuevo diseño de malla y realizando un adecuado control a los factores de perforación y voladura, los resultados en cuanto a avance por disparo fueron óptimos. Los reportes de avance por disparo se muestran a continuación, ver Tabla 21:



Tabla 21

Nuevo reporte de avances por guardia.

Día	Lugar	Avance por disparo guardia "A"	Avance por disparo guardia "B"	Total avance por metro lineal por día
27/04/2020	Frente 1 850W	1,06	1,05	2,11
28/04/2020	Frente 1 850W	1,04	1,06	2,10
29/04/2020	Frente 1 850W	1,04	1,05	2,09
30/04/2020	Frente 1 850W	1,05	1,04	2,09
1/05/2020	Frente 1 850W	1,03	1,06	2,09
2/05/2020	Frente 1 850W	1,05	1,03	2,08
3/05/2020	Frente 1 850W	1,04	1,05	2,09
4/05/2020	Frente 1 850W	1,06	1,05	2,11
5/05/2020	Frente 1 850W	1,07	1,04	2,11
6/05/2020	Frente 1 850W	1,06	1,05	2,11
7/05/2020	Frente 1 850W	1,05	1,03	2,08
8/05/2020	Frente 1 850W	1,06	1,06	2,12
9/05/2020	Frente 1 850W	1,05	1,07	2,12
10/05/2020	Frente 1 850W	1,06	1,06	2,12
11/05/2020	Frente 1 850W	1,04	1,05	2,09



4.1.3.4. Reporte de costos y presupuestos

Realizar esta investigación sobre incrementar eficiencias en perforación y voladura también influyo en nuestros costos y presupuestos, claro que los resultados fueron óptimos para el área de operaciones y sobre todo para la gerencia de Minera Achanizo E.I.R.L., Habiendo una optimización de costos en perforación y voladura importante que son muy beneficiosos para la empresa, y además nos ayuda a cumplir con el presupuesto proyectado. En la siguiente tabla se muestra el reporte de costos de perforación y voladura optimizados, ver Tabla 22:

Tabla 22

Nuevo reporte de costos de perforación y voladura.

a) Mano de obra

Tipo de cambio s/. \$. 3,45

Obreros	Hrs x Disp	Tareas	Jornal S/.	Jornal \$	Costo \$ x Disp
Perforista	8	1	45,00	13,64	13,64
Ayudante Perforista	8	1	40,00	12,12	12,12
Winchero	8	1	40,00	12,12	12,12
Sub – total	24	3,00			37,88
Leyes sociales	98,24%				37,21
Total obreros					75,09



b) Equipo de perforación

Inventario	P.U.\$	Repuestos	V. Útil	Pie perf.	Costo \$ x pie perf.
Maquina perf. (jackleg)	1350	100%	50000	98	2,65
				98	2,65

Inventario	P.U. \$	Repuestos	V. Útil	Trabajo x día 1 disp.	Costo \$/Disp.
Dampers	3658,5	100%	720	1	5,08
				1	5,08

c) Materiales de perforación

Barrenos	Cant.	Precio \$	V. Útil	p.p.	Costo \$ x Disp.
Barra cónica de 4 pies	1	94,51	1500	98	6,18
Broca de 38 mm	1	21,34	500	98	4,18
Total barrenos					10,36

Mangueras y Accesorios	Unidad	Cantidad	Precio S	V. Útil	Costo S x Disp.
Manguera de 1/2"	Metros	20	2,23	150	0,30
Manguera d 1"	Metros	20	3,65	120	0,61



Aceite de perforación Galones 0,18 9,07 1 1,63

Total mangueras y accesorios 2,54

d) Equipo de protección personal (EPP)

Inventario	Unidad	Cantidad	Precio \$	V. Útil	Costo \$ x Disp.
Protector	Pza.	3	5,49	300,00	0,06
Respirador 3M	Pza.	3	25,91	180,00	0,44
Filtro de respirador	Par.	3	10,97	15,00	2,19
Tapón de oídos	Par.	3	3,00	120,00	0,08
Lámpara de batería KLM + cargador	Pza.	3	60,67	120,00	1,52
Guantes de cuero	Par.	3	5,48	20,00	0,82
Correa porta lámparas	Pza.	3	5,64	300,00	0,06
Mameluco	Pza.	3	16,77	180,00	0,28
Ropa de jebe	Pza.	2	19,88	120,00	0,33
Bota de jebe	Par.	2	19,81	180,00	0,22
Arnés	Pza.	1	39,5	120,00	0,33
Línea de vida	Pza.		36,17	120,00	0,00



Zapato Punta acero	Par.	3	20,91	180,00	0,35
--------------------	------	---	-------	--------	------

Total implementos de seguridad					6,68
--------------------------------	--	--	--	--	------

e) Herramientas y otros materiales

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S	V. Útil	Costo S x Disp.
Lampas	Pza.	1	11,97	30	0,399
Picos	Pza.	1	11,97	30	0,399
Llave Stilson 14"	Pza.	1	8,38	120	0,07
Alambre de amarre	Kg.	0,25	0,38	1	0,095
Barretillas	Pza.	2	3	30	0,2
Cucharilla	Pza.	1	5,5	60	0,092
Atacador de madera	Pza.	1	2,4	30	0,08
<hr/>					
Total herramientas					1,34
<hr/>					
<hr/>					
Sub total de costos directos					103,74
<hr/>					
Utilidad		0,00%		0	
Imprevistos		15%		12,18	
<hr/>					
Costo x disparo					115,92
<hr/>					



f) Materiales de voladura

Explosivos	Unidad	Taladro	Cantidad	Precios \$	Costo \$ x Disp
Dinamita semigelatinosa 65% 7/8	Cartuchos	24	4	0.39	37,44
Guía de Seguridad	6 pies	24	1	0.29	6,96
Fulminante Común N° 8	Unidad	24	1	0.26	6,24
Total Explosivos					50,64
Costo total por disparo					166,56

4.1.4. RESULTADO PARA EL OBJETIVO GENERAL

Incrementar la eficiencia en perforación y voladura aplicando el nuevo diseño de malla en el frente de la galería 1850W en la empresa minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa.

4.1.4.1. Resultados comparativos de perforación

1. Malla de perforación antes de la investigación

En el diseño de malla de perforación anterior en el frente de la galería 1 850W, no se consideraron alguno factores así como: burden, espaciamento y macizo rocoso.



Lo cual la malla de perforación era ineficiente, contaba con 28 taladros (26 de producción y 2 de alivios). Ver la Figura 17.

Según los reportes de avance la longitud de perforación efectiva promedio era de 0,95 m. Ver Figura 17.

2. Malla de perforación después de la investigación

Aplicando de nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la galería 1 850W de la Minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, se dieron resultados óptimos ya que para este diseño si se tomaron en cuenta los factores como: macizo rocoso, burden y espaciamiento, para este nuevo diseño se calculó 26 taladros (24 de producción y 2 de alivio). Ver Figura 17.

Según los nuevos reportes de avances se pudo notar el incremento de la eficiencia de la longitud de perforación efectiva promedio que eran de 1,06 m. Ver Figura 17.

4.1.4.2. Discusión de resultados de perforación

Analizando los resultados de perforación (antes y después), nos resulta que, aplicando el nuevo diseño de malla se ha disminuido 2 taladros en comparación a la malla anterior. Además los nuevos reportes (antes y después), de longitud de perforación efectiva se pudo notar que hay un incremento promedio de 11 cm a los reportes anteriores.

Resultados comparativos de perforación

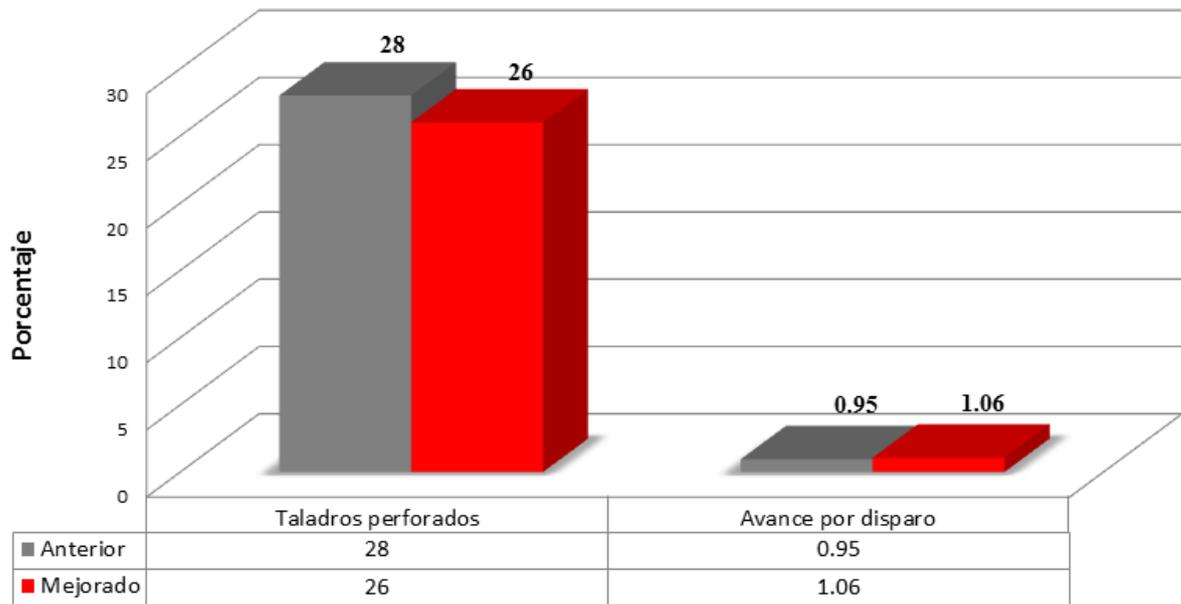


Figura 18. Diferencia de resultados de N° de taladros y avance por disparo (m).

4.1.4.3. Resultados comparativos de voladura

1. Cantidad de carga antes de la investigación

Antes de la investigación no había un uso de adecuada cantidad de explosivos, para la malla de perforación anterior, la cantidad de explosivos para la voladura eran: 104 cartuchos de explosivo semigelatina 65%, 26 fulminantes N° 8 y 46,8 metros de mecha de seguridad para 28 taladros (26 de producción y 2 de alivio), ver Tabla 23.

Tabla 23

Resultados de voladura anterior.

Inventario	Resultado
N° de cartuchos	104
N° de fulminantes	26
Mecha de seguridad	46,8 m



Volumen	3,6 m ³
Toneladas rotas	9,72 tm
Factor de carga	2,3 kg/m ³
Factor de carga lineal	8,71 kg/m
Factor de potencia	0,86 Kg/tm
Eficiencia de voladura	86,5 %

2. Cantidad de carga después de la investigación

Ya después de realizar la investigación se tuvo un adecuado uso de la cantidad de los explosivos en el frente 1 850W, estos se distribuían en: 89 cartuchos de explosivo semigelatina 65 %, 24 fulminantes N° 8 y 43,1 metros de mecha de seguridad, ver Tabla 24 y Figura 18.

Tabla 24

Nuevos resultados de voladura.

Inventario	Resultado
N° de cartuchos	89
N° de fulminantes	24
Mecha de seguridad	43,1 m
Volumen	4,01 m ³
Tonelaje	10,83 tm
Factor de carga	1,79 kg/m ³

Factor de carga lineal	6,78 kg/m
Factor de potencia	0,66 kg/tm
Eficiencia de voladura	95,5 %

4.1.4.4. Discusión de resultados de la voladura

Analizando los resultados de voladura (antes y después), nos resulta que, utilizando una cantidad adecuada de explosivos en la voladura se pudo notar un incremento de eficiencia de voladura de 9 % con respecto al anterior.

Además al realizar la voladura con una adecuada cantidad de explosivos se tuvo un mejor control de sobrerotura generando así una mejor estabilidad del frente y dimensionamiento de la sección, ver Figura 18.

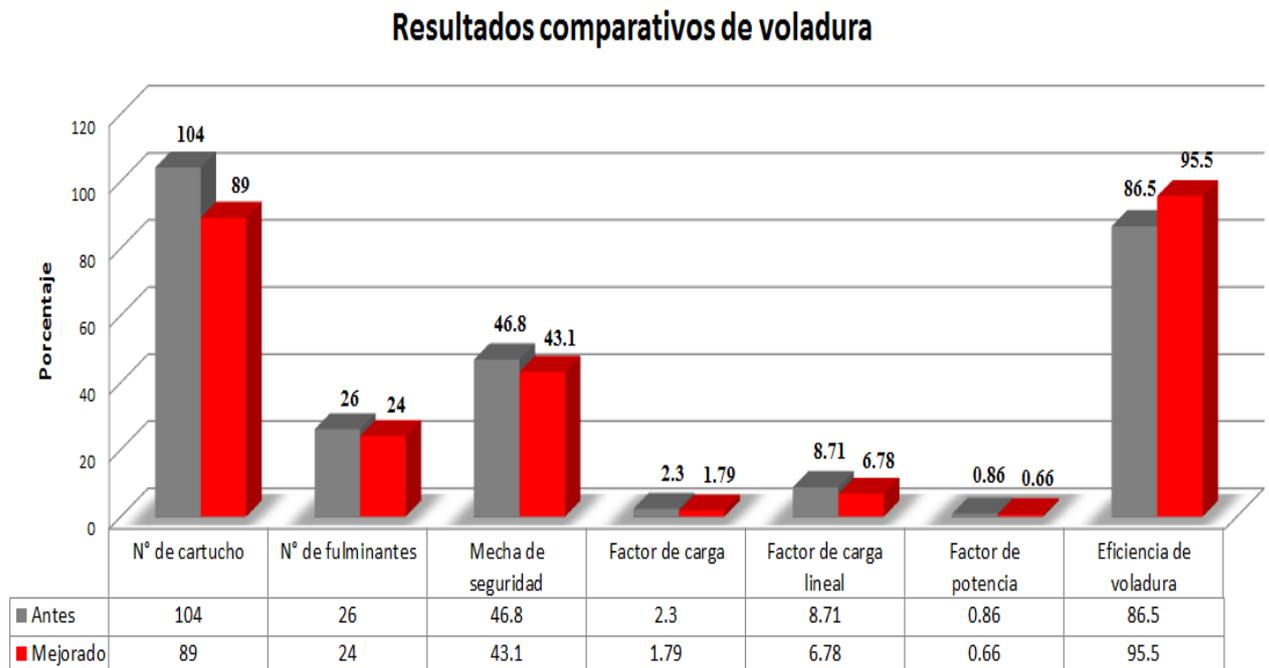


Figura 19. Diferencia de resultados de voladura.

4.1.4.5 Discusión de resultados de perforación y voladura

Habiendo realizado el estudio de perforación y voladura anterior y después de la investigación, se puede ver que existe un incremento de eficiencia en los parámetros de perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W en la Minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa. Estos datos se indican en el siguiente cuadro, ver Tabla 25:

Tabla 25

Comparación de resultados de perforación y voladura.

Inventario	Antes	Después	Diferencia	Unidad de medida
Taladros perforados	28	26	2	N° de cartuchos
Avance lineal	0,95	1,06	0,11	Metros
Dinamita famosa 65%	104	89	15	Cartuchos
Fulminante N° 8	26	24	2	Piezas
Mecha de seguridad	46,8	43,1	3,7	Metros
Factor de carga	2,3	1,79	0,51	Kg/m ³
Factor de carga lineal	8,71	6,78	1,93	Kg/m
Factor de potencia	0,86	0,66	0,2	Kg/TM
Eficiencia de voladura	86,5	95,5	9	%

En el diseño de malla de perforación de antes se pudo verificar que se realizaban 28 taladros perforados, y al realizar la nueva malla de perforación se ha reducido a 26 taladros haciendo una resta de 2 taladros con respecto al de antes.



Además se pudo notar un incremento de la eficiencia en el avance lineal, que reportes antes de la investigación era 0,95 m y después de la investigación se logró alcanzar 1,06 m.

En la voladura antes de la investigación se han realizado con explosivo famesa semigelatina 65%, con una cantidad de 104 cartuchos, 26 piezas de fulminante N° 8, 46,8 m de mecha de seguridad, dando como resultado 2,3 Kg/m³ de factor carga, 8,71 kg/m de factor carga lineal, 0,86 kg/TM de factor de potencia y una eficiencia de voladura de 86,5 %.

En la voladura después de la investigación se han realizado con explosivos famesa 65 %, con una cantidad de 89 cartuchos, 24 piezas de fulminante N° 8, 43,1 m de mecha se seguridad, dando como resultado 1,79 Kg/m³ de factor carga, 6,78 kg/m, de factor carga lineal, 0,66 kg/TM de factor de potencia y una eficiencia de voladura de 95,5 %. Haciendo más eficiente la perforación y voladura en el frente 1 850W. Además nos ayuda a tener un mayor control de sobrerotura generando así una mejor estabilidad del frente y dimensionamiento.

Una vez realizado nuestra investigación de perforación y voladura también afecto a uno de los factores no muy importantes que son los costos de perforación y voladura, ya que al incrementar las eficiencias en perforación y voladura, en consecuencia se redujeron los costos de perforación y voladura. En la siguiente tabla se efectúa la descripción de los resultados de costos de perforación y voladura anterior y después de la investigación, ver Tabla 26 y Figura 19:

Tabla 26

Resumen de diferencia de costos de perforación y voladura.

Comparación de costos de perforación y voladura		
Antes de la investigación	Después de la investigación	Diferencia
179,2	166,56	12,65

Resultados comparativos de costos de perforación y voladura

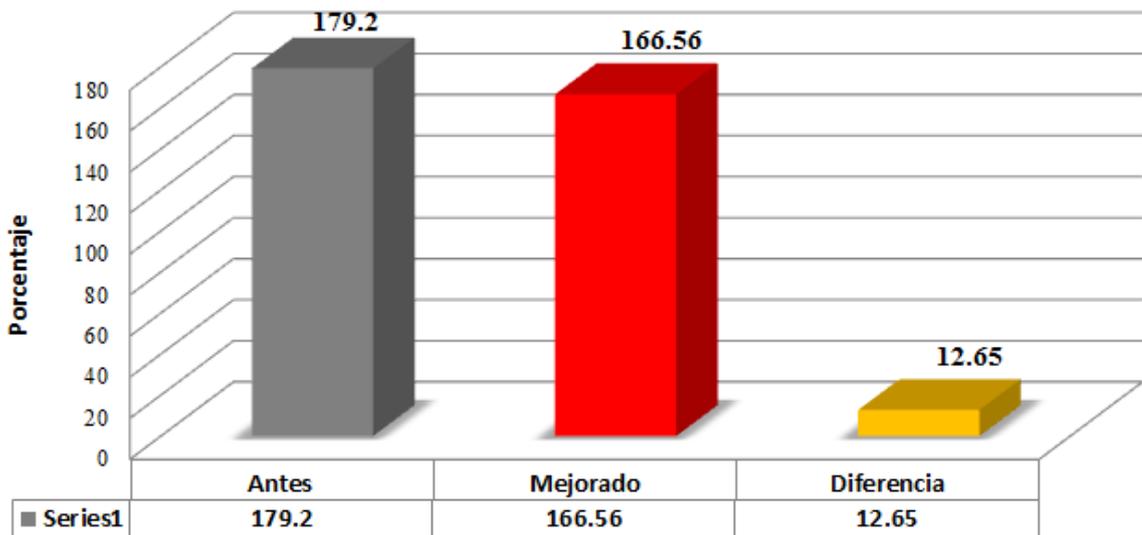


Figura 20. Diferencia de resultados de costos de perforación y voladura.



Se puede notar que hay una diferencia de 12,65 \$/disparo con respecto a los costos anteriores, esto resulta muy beneficio para la empresa, además nos ayuda a cumplir satisfactoriamente con el presupuesto proyectado.

4.1.4.6. Discusiones de resultados con otras fuentes

Aplicando el nuevo diseño de malla utilizando el modelo de Roger Holmberg en el frente de la galería 1 850W se resta el número de taladros de 28 a 26. (Palomino, 2016) disminuye el número de taladros, antes se perforaba con 39 taladros, ahora con el nuevo método mejorado se perfora con 37 taladros. Esto gracias a un adecuado control de los factores en el diseño de perforación. Al igual (Llanqui, 2019) disminuye las perforaciones de 43 a 39 taladros perforados. (Apaza, 2020) en función a las condiciones geomecánicas del macizo rocoso y cálculos matemáticos en el modelo de Holmberg reduce de 46 a 40 taladros.

Con un mayor control en las operaciones de perforación se logró incrementar el avance efectivo por disparo que antes de la investigación era un promedio de 0,95 m a después de la investigación de 1,06 m de avance efectivo, haciendo una diferencia de 11 cm más eficiente que el anterior. Otro que logro mejorar el avance efectivo por disparo fue (Ramos, 2016) empleando la metodología de los 7 pasos de control y la teoría de Holmberg paso de 1,11 m/disp., a 1,32 m/disp. También (Palomino, 2016) el avance lineal anterior era de 1,53 m ahora con el nuevo método mejorado se avanza 1,66 m por disparo. (Palma, 2019) resta el tiempo de perforación de la galería 905 en 19 min. de 2:48 horas a 2:29 horas logrando aumentar la vida útil de los aceros y mayor avance de 1,62 a 1,68 (6cm) por cada disparo. Además según estos resultados, incrementar la eficiencia en perforación y voladura, fueron importantes para obtener una reducción de costos de perforación y voladura que era de 179,2 \$/disp., a 166,56 \$/disp.



Al igual que (Apaza, 2020) que con el rediseño de la malla de perforación con el modelo de Holmberg reduce los costos unitarios de perforación y voladura por metro lineal de avance de 885,95 S/. /m a 696,26 S/. /m ahorrando 189,68 S/. /m. También lo hizo (Palma, 2019) ahorrando de 392,10 US\$/m antes de la optimización – 380,89 US\$/m después de la optimización = 11,21 US\$/m de ahorro.

Supervisando el uso adecuado de los explosivos en la voladura se obtuvo resultados positivos, el factor de potencia disminuyó de 0.86 kg/ton a 0.66 kg/ ton., es decir un 0,2 kg/Tm menos, el factor de carga lineal disminuyó de 8,71 kg/m a 6,78 kg/m., es decir un 1,93 kg/m menos. Los cartuchos de explosivo utilizados disminuyeron de 104 a 89 cartuchos, es decir 15 cartuchos menos, los fulminantes se redujeron de 26 a 24, es decir 2 piezas de fulminante menos, la mecha de seguridad se redujo de 46,8 m a 43,7 m., es decir 3,7 m menos. Efectivamente en el estudio de investigación al aplicar el nuevo diseño de malla tomando en cuenta los factores se pudo incrementar la eficiencia de voladura, mejorando de un 86,5 % que eran antes de la investigación y ahora es 95,5 %. Lo cual representa un incremento de eficiencia de perforación y voladura muy favorable para la empresa. Al igual que (Mostacero & Rodríguez, 2017) disminuyó el factor potencia de 0,82 kg/ton a 0,57 kg/ton restando 0,25 kg/ton menos. También (Mauro, 2013) reduce el factor carga en un 24 %, reportando de 0,29 kg/ton a 0,22 kg/ton, disminuyendo la dilución en un 17 %.



V. CONCLUSIONES

Realizando un adecuada inspección de los parámetros de perforación y voladura en el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, se diseña una nueva malla de perforación de acuerdo al modelo de Roger Holmberg y uso adecuado de explosivos, se optimiza los resultados de número de taladros de 28 a 26 taladros con una diferencia de 2 taladros y el número de cartuchos para la voladura que se redujo de 104 a 89 cartuchos de explosivo con una diferencia de 15 cartuchos, se logra diseñar una malla de perforación y voladura más eficiente a la del anterior.

Al aplicar el nuevo diseño de malla de perforación en el frente de la galería 1 850W, en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, se logra incrementar la eficiencia de longitud efectiva de perforación, que según los reportes de avance antes de la investigación era 0,95 m y después de la investigación fueron de 1,06 m en promedio, haciendo una diferencia de 11 cm de longitud efectiva de perforación.

Al realizar la voladura con un adecuado uso de explosivos famesa semigelatina 65% en el frente de la galería 1 850W en la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, se pudo reducir la carga explosiva de 8,71 kg/m a 6,78 kg/m, obteniendo una resta de 1,93 kg/m, incrementando así la eficiencia de voladura de 86,5 % a 95,5%, haciendo una diferencia de 9 %.



VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio más detallado sobre la caracterización del macizo rocoso en las labores subterráneas de la minera Achanizo E.I.R.L. – Arequipa, ya que con estos resultados se podría incrementar aún más nuestras eficiencias en perforación y voladura.

Al realizar la voladura se debería hacer una mejor selección del uso de explosivo, analizando sus características físicas y químicas según las condiciones geomecánicas donde se va a realizar la voladura, esto entre la dinamita semigelatina 65% y 80%, una selección adecuada de explosivo nos podrá ayudar a tener una voladura más eficiente.

Se recomienda efectuar una mayor supervisión en las operaciones unitarias de perforación y voladura, ya que realizado esta investigación se pudo observar favorablemente un incremento de eficiencia de un antes y después en perforación y voladura. Estos resultados nos sirven para capacitar a los supervisores, maestros perforistas y ayudantes, a ver qué tan importante es aplicar el nuevo diseño de malla de perforación.



VII. REFERENCIAS

Apaza, E. (2020). *Mejora de la perforación y voladura, mediante el rediseño de la malla y aplicación del corte cilíndrico en labores de avance unidad de producción Alpacay – Minera Yanaquihua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11673/MIapmoey.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aliaga, B. (2018). *Diseño de mallas de perforación y voladura para mejorar avances en la Galería Juana – Minera caracol S.A.C*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4967>

Anchapuri, L. (2021). *Evaluación y optimización de perforación y voladura para la reducción de costos unitarios en la ejecución de la galería 819E – Mina Yanaquihua – Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano de Puno].

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15229/Anchapuri_Chique_Luis_Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cámac, A. (2005). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Puno: FIM - UNA.

Cámac, A (2005). *Tecnología de Explosivos*. Puno: FIM - UNA.

Calderón, M. (2015). *Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (unidad minera*



Macdesa). [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3182>

Diéguez, Y., Otaño, J. & Sargentón, G. (2014). Diseño de voladuras de contorno en túneles. *Revista Minería y Geología*, 30(3), 49-66.

<https://www.redalyc.org/pdf/2235/223532481004.pdf>

EXSA (2009). *Manual Práctico de Voladura, Edición Especial*. Perú.

https://issuu.com/ccastilloma/docs/3._manual_practico_de_voladura_exsa

FAMESA Explosivos (2020). *Manual de Perforación y Voladura*.

<https://www.minerosunsa.com/2020/03/manual-de-perforacion-y-voladura-famesa.html>

Garrido, J. (2015). *Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción de costos en mina Animon*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].

<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2343913>

López, C., Pernia, J., Ortiz, F., & López, E. (2014). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas, Serie Tecnología y Seguridad Minera*.

<https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/07/Manual-de-Perforacion-y-Voladura-de-Rocas.pdf>

López, C. (1997). *Manuel de Túneles y Obras Subterráneas Madrid*, Gráficas Arias Montano.

<https://es.scribd.com/document/379705980/Manual-de-Tuneles-y-Obras-Subterraneas-1997-555>



- López, C., Pernia, J., López, E., & Ortiz, F. (2011). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Serie Geotecnia*. Instituto Geológico y Minero de España.
<https://docer.com.ar/doc/xsxnvnv>
- Lara, O. (2013). *Diseño de malla de perforación para optimizar la voladura en la unidad carahuacra de la compañía minera Volcan S.A.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2173>
- Maldonado, R., Zamora, E., Jimeno, J. & Torres, T. (2016). Modelo de gestión de operaciones. *Revista 10 mejores trabajos de investigación y tecnología minera, Primera edición*, (183-215).
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/10-Mejores-Trabajos-Investigacion-Tecnologia-Minera.pdf
- Mauró, O. (2013). Reducción de costos en explotación de mineral mediante la optimización de perforación y voladura. *Revista Centro tecnológico de voladura EXSA, Primera edición* (1 – 28).
https://iimp.org.pe/pptjm/jm20141009_EXSA.pdf
- Mostacero, E. & Rodríguez, N. (2017). Optimización del diseño de perforación y voladura, para reducir costos en labores de avance en la mina Santa María – Poderosa S.A. [Tesis de pregrado, Universidad nacional de Trujillo].
<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9318>
- Palma, E. (2019). *Optimización del proceso de perforación y voladura, mediante el diseño de malla de perforación en la Galería “GL – 905” de la compañía*



minera Fargo Minera y Construcción S.A.C., unidad minera "FOX". [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo].

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/4388/T033_72227484_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Palomino, H. (2016). *Optimización del proceso de perforación y voladura en las labores de desarrollo, para mejorar la eficiencia en Compañía Minera Poderosa S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].

<https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5348>

Paucar, M. (2012). *Diseño de malla de perforación y voladura en frentes para optimizar la voladura en la mina San Genaro de la cia. Minera castro virreina S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3173>

Rojas, O. (2018). Aplicación del modelo matemático de Holmberg en el diseño de malla de perforación y su eficiencia en el avance de una labor minera. *Revista Minería – Instituto de Ingeniería de Minas del Perú*, 485(1), 52 – 60.

Ramos, L. (2016). *Optimización de la ejecución de galerías y cruceros en la mina Ana María mediante la estandarización de perforación y voladura.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3006>

Rincón, J. & Molina, J. (2017). Mejoramiento de arranque mediante el control de las desviaciones de perforación, caso mina "El Roble", Colombia. *Revista Boletín de Ciencias de la Tierra*, 42, 45-54.

https://www.researchgate.net/publication/318891089_Mejoramiento_del_arranq



[ue_mediante_el_control_de_las_desviaciones_de_perforacion_caso_mina_El_Roble_Colombia](#)

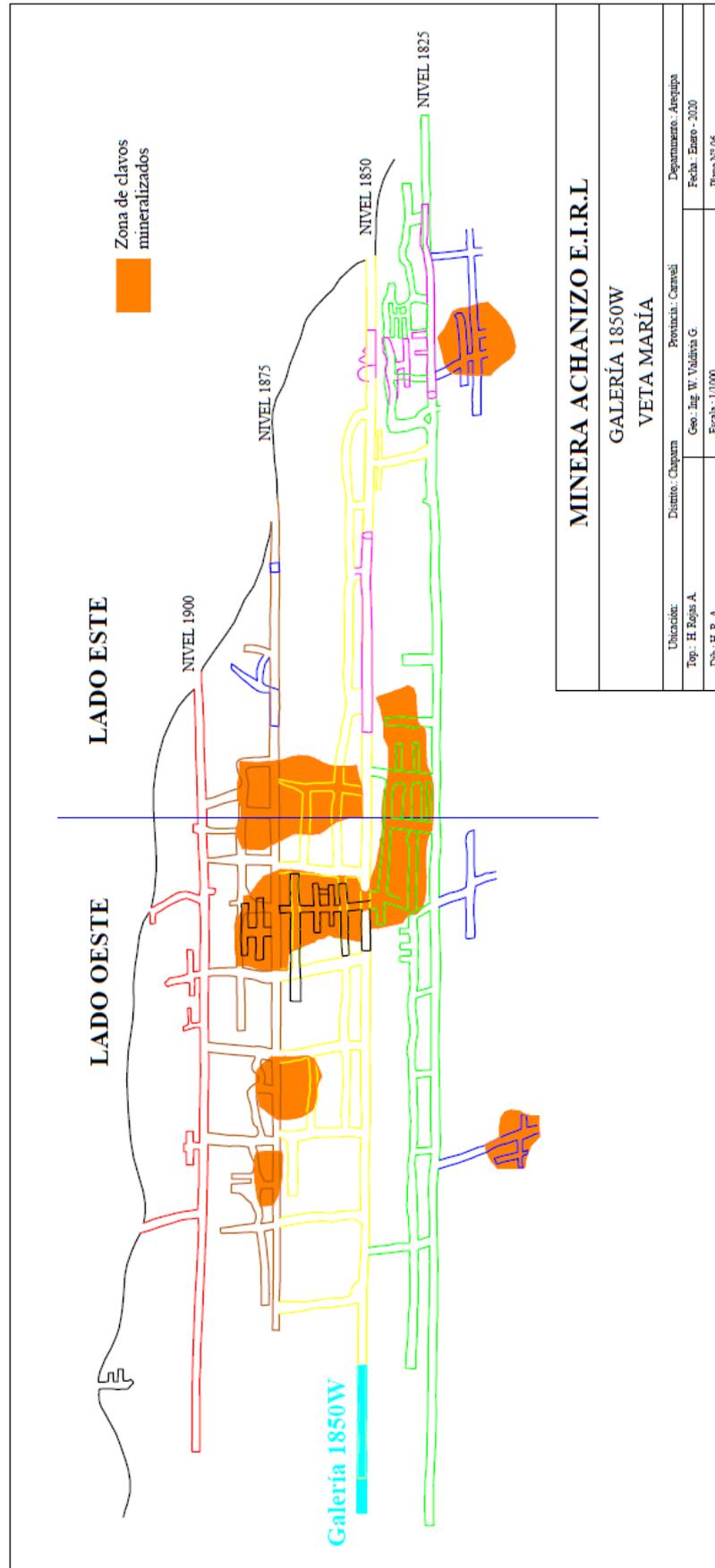
Taipe, J. & Marcañaupa, D. (2015). *Implementación de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura en frentes de avance, en la Mina San Cristóbal de la CIA. Minera Bateas S.A.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/2177>



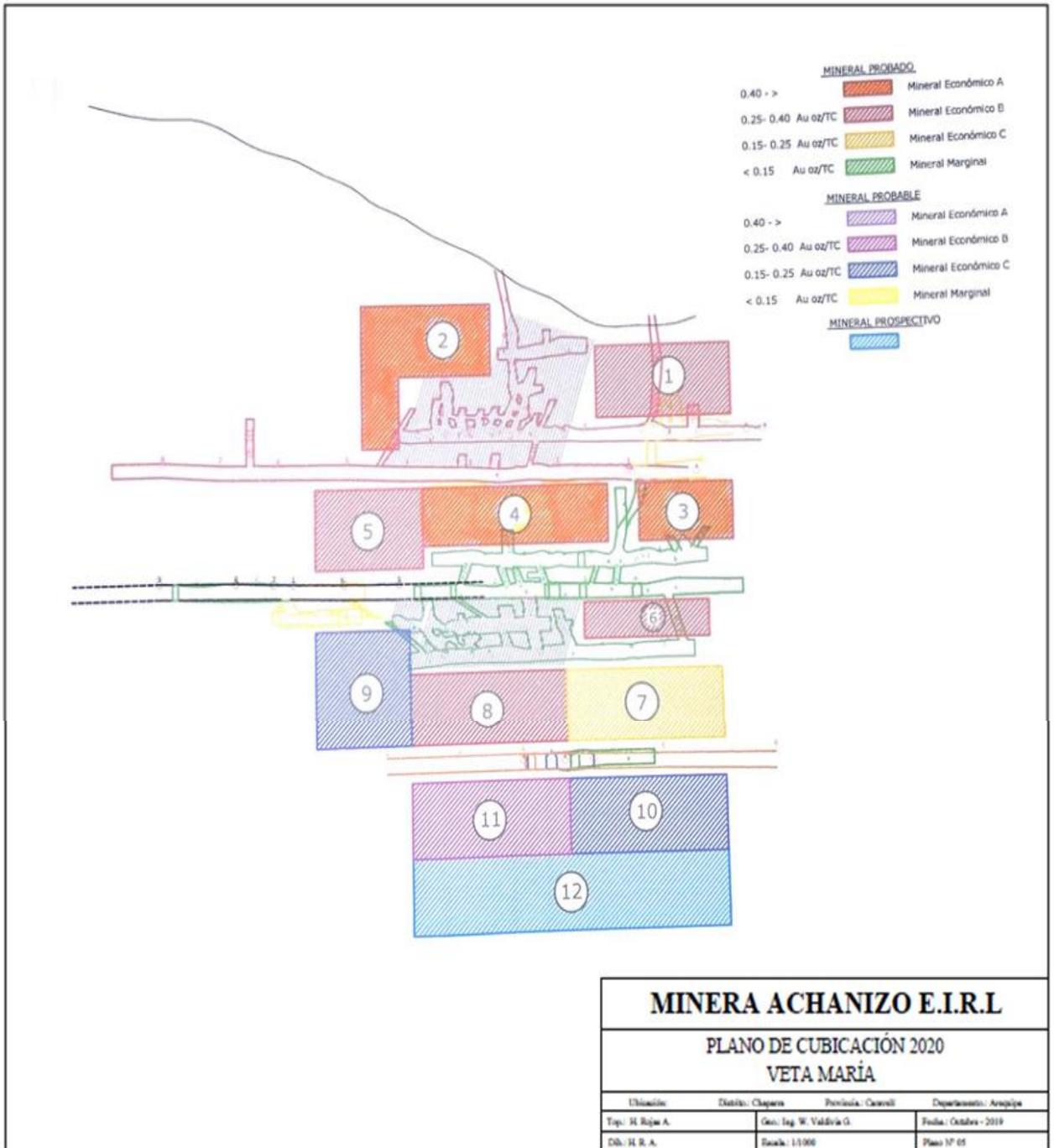
ANEXOS

Anexo 1. Plano del proyecto para la ejecución de la Galería 1850W.



MINERA ACHANIZO E.I.R.L	
GALERÍA 1850W	
VETA MARÍA	
Ubicación:	Departamento: Arequipa
Districto: Chaparral	Provincia: Caraveli
Top: H Rojas A.	Geo.: Ing. W. Valderrama G.
Dib.: H. R. A.	Fecha: Enero - 2020
	Escala: 1:1000
	Plano N° 06

Anexo 2. Plano de cubicación de la Veta María.



Anexo 3. Columna estratigráfica.

LEYENDA						
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS		
				PLUTONICAS	HIPABASILES	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos: aluviales y eólicos	Q-e Q-al		
		Pleistoceno	Terrazas Marinas	Qp-tm		
	TERCIARIO	Plioceno	Volcánico Sencca	Ts-vse		
			Formación Millo	Ts-mi		
		Mioceno	Formación Pisco	Ts-pi		
			<i>Disc. Eros.</i>			
	MESOZOICO	CRETACEO	Inferior	Formación Yauca	Ki-ya	
			Superior	Formación Guaneros	Js-gu	
		JURASICO	Medio	Formación Yuncachaca	Jm-yu	
			Inferior	Formación Chocolate	Ji-vch	
<i>Disc. Ang.</i>						
PALEOZOICO		CARBONIFERO	Superior	Grupo Tarma	Cs-ta	
	Grupo Ambo			Ci-a		
PROTE-ROZOICO	PRECAMBRIANO		Complejo Basal de la Costa	PE-cb		

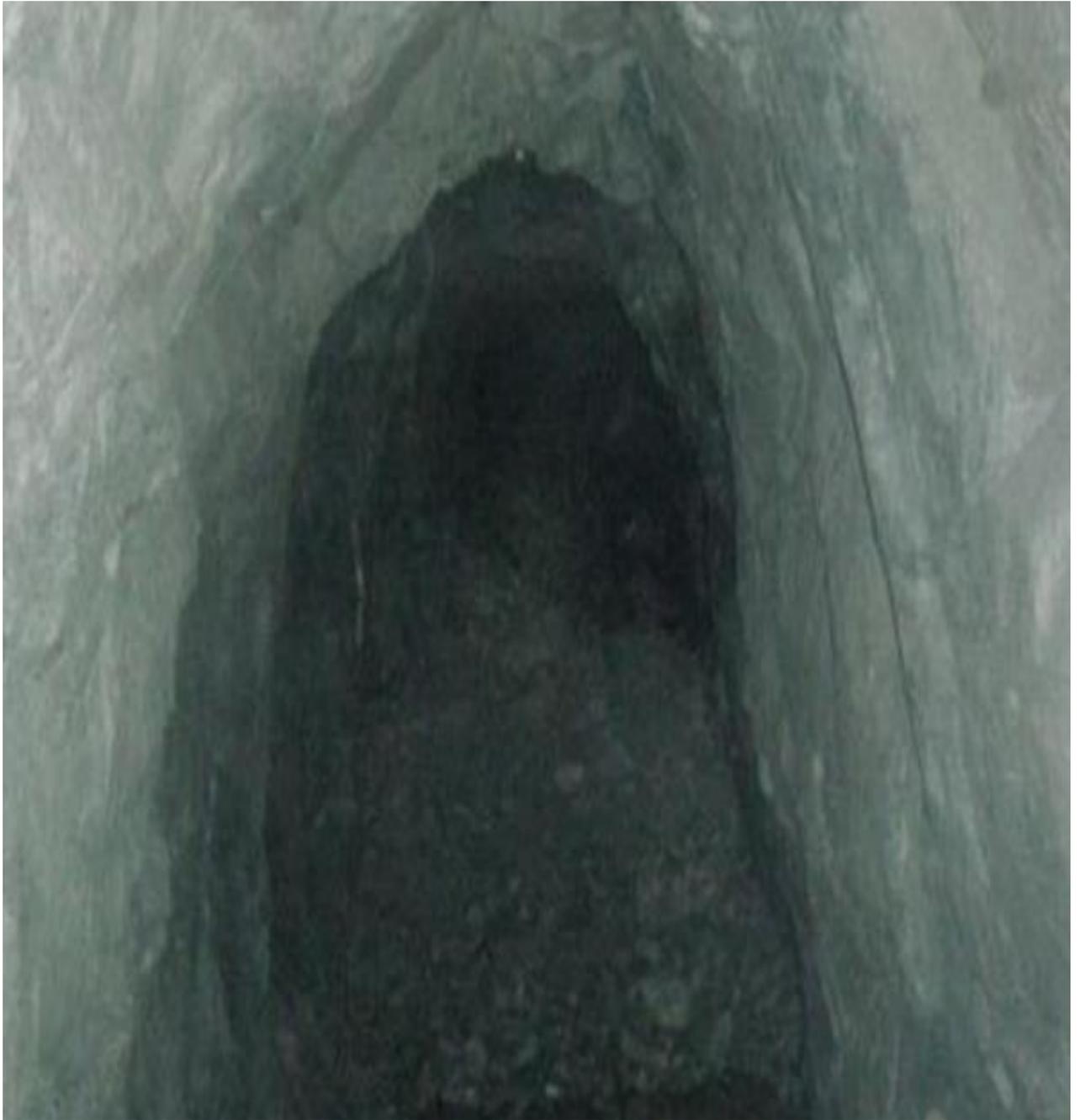
BATOLITO DE LA COSTA	
Superunidad K-tgd-t	Tonalita-Granodiorita
Tiabaya K-di-t	Diorita

Complejo Bella Union	
Superunidad K-m-l	Monzonita
Linga K-mdi-l	Monzodiorita
M-di	Diorita-Mesozoico
Kms-bu	

INTRUSIVO DEL BASAMENTO	
PE-gr	Granito



Anexo 4. Sobre roturas en las alzas con la malla anterior.



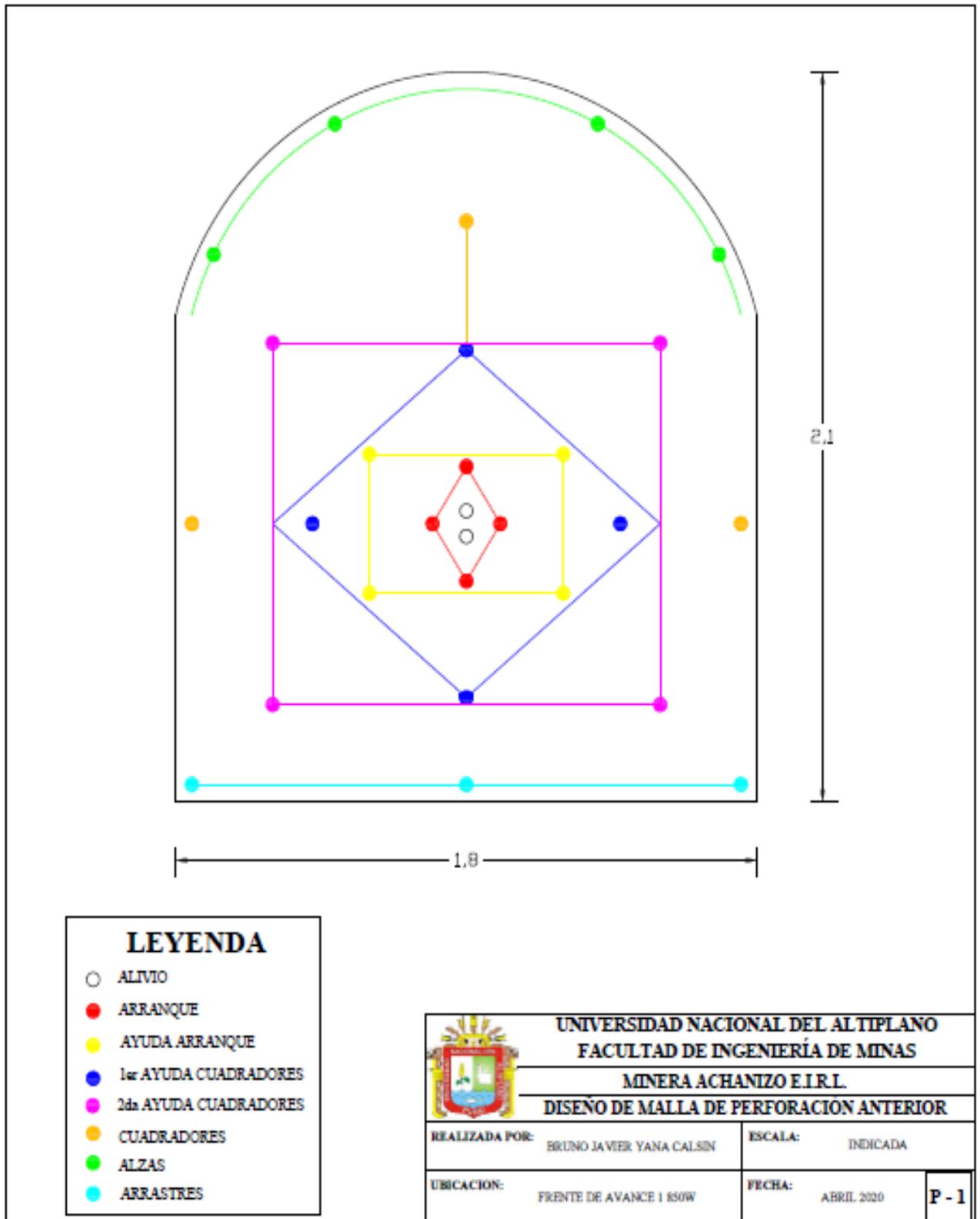
Anexo 5. Control de avances por disparo con la malla anterior.

		REPORTES DE AVANCE CON LA MALLA ANTERIOR						
FECHA	TURNO	ZONA	LABOR	SECCIÓN	TAL. PERFO.	AVANCE x DISP.	TOTAL AVANC	
05/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97		
05/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96	1.93	
06/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
06/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96	1.92	
07/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.98		
07/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95	1.93	
08/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95		
08/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97	1.92	
09/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
09/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.98	1.94	
10/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94		
10/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95	1.89	
11/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97		
11/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94	1.91	
12/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.98		
12/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97	1.95	
13/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95		
13/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.98	1.93	
14/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
14/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96	1.92	
15/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97		
15/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95	1.92	
16/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
16/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94	1.9	
17/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
17/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94	1.9	
18/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95		
18/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94	1.89	
19/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.94		
19/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95	1.89	
20/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
20/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96	1.92	
21/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95		
21/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96	1.91	
22/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97		
22/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97	1.94	
23/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95		
23/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.98	1.93	
24/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
24/04/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.95	1.91	
25/04/2020	Dia	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.96		
25/05/2020	Noche	María	Galeria 1850W	1.8 m x 2.1 m	28	0.97	1.93	

Anexo 6. Control de reportes de avances con nuevo diseño de malla.

		REPORTES DE AVANCE CON NUEVO DISEÑO DE MALLA					
FECHA	TURNO	ZONA	LABOR	SECCIÓN	TAL. PERF	AVANCE	TOTAL AVANCE
27/04/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	
27/04/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.11
28/04/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	
28/04/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	2.1
29/04/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	
29/04/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.09
30/04/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	
30/04/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	2.09
01/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.03	
01/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	2.09
02/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	
02/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.03	2.08
03/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	
03/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.09
04/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	
04/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.11
05/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.07	
05/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	2.11
06/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	
06/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.11
07/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	
07/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.03	2.08
08/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	
08/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	2.12
09/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	
09/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.07	2.12
10/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	
10/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.06	2.12
11/05/2020	Día	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.04	
11/05/2020	Noche	María	Galería 1850W	1.8 m x 2.1 m	26	1.05	2.09

Anexo 7. Diseño de malla anterior.



LEYENDA	
○	ALIVIO
●	ARRANQUE
●	AYUDA ARRANQUE
●	1er AYUDA CUADRADORES
●	2da AYUDA CUADRADORES
●	CUADRADORES
●	ALZAS
●	ARRASTRES

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO	
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS	
MINERA ACHANIZO E.I.R.L.	
DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN ANTERIOR	
REALIZADA POR:	BRUNO JAVIER YANA CALSIN
ESCALA:	INDICADA
UBICACION:	FRENTE DE AVANCE 1 850W
FECHA:	ABRIL 2020
P - 1	

Anexo 8. Diseño de la nueva malla de perforación por el método de Holmberg.

