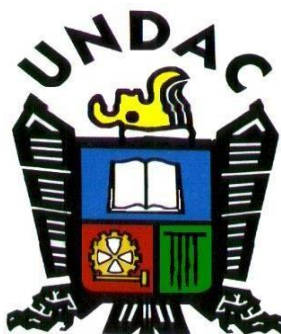


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Optimización del diseño de malla para reducir los costos de la
perforación y voladura de la rampa en la UM. Parcoy - Consorcio**

Minero Horizonte

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. William Henry CABELLO MILLA

Asesor:

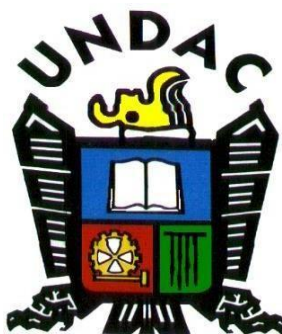
Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

**Optimización del diseño de malla para reducir los costos de la
perforación y voladura de la rampa en la UM. Parcoy - Consorcio**

Minero Horizonte

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Vicente César DÁVILA CÓRDOVA
PRESIDENTE

Ing. Toribio GARCÍA CONTRERAS
MIEMBRO

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR
SURICHAQUI Sarita Silvia FAU
20154605046 soft
No soy el autor del documento
09.09.2025 20:39:52 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 032-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. William Henry CABELLO MILLA

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:
Tesis

Título del trabajo
"Optimización del diseño de malla para reducir los costos de la perforación y voladura de la rampa en la UM. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte"

Asesor:
Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA

Índice de Similitud: **20%**

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 10 de setiembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A ti, mamá, Gemma Milla, quien con amor, sacrificio y sabias palabras hizo posible este logro, dedico con todo mi corazón esta tesis. Tu apoyo inquebrantable, tu fe en mí y tu entrega infinita han sido la fuerza que me impulsó en cada paso del camino. Este trabajo es tan tuyo como mío, porque sin ti, nada habría sido posible. Gracias por ser mi guía, mi refugio y mi mayor inspiración.

AGRADECIMIENTO

Deseo manifestar mi más profundo agradecimiento a todos aquellos que facilitaron la ejecución de esta tesis. A mis asesores, por su inestimable guía, y asistencia; a mi familia, por su apoyo incondicional; a mis amigos, por su aliento constante. A cada uno que de alguna manera contribuyó a este logro, les dedico este trabajo con gratitud y admiración.

RESUMEN

El principal interés de mi investigación fue establecer hasta qué punto la zonificación geomecánica facilitar la optimización del diseño de la malla para reducir los costos de perforación y voladura de la rampa en la unidad Minera Parcoy perteneciente al Consorcio Minero Horizonte SA.

Para lograr las metas del estudio, se eligió como grupo de estudio a las actividades.

La muestra fue elegida como no probabilística e incluyó el ciclo de minado que se lleva a cabo en la rampa (RP1925) durante las labores de desarrollo subterráneo de la veta Afrodita.

Por lo tanto, se examina cada procedimiento de ejecución basándose en el modelo matemático de Calvin. Estambul. Para obtener datos reales, se realizó un seguimiento a 10 disparos, logrando un avance medio de 3.17 metros por disparo, con una eficiencia del 95%. Al igual que se disminuye la sobrerotura del 15.45% al 5.47% a través del control de las cargas desacopladas (cañas), para mantener un mejor rendimiento se procedió a poner en práctica y normalizar la nueva malla de perforación y voladura en la RP1925. Después de experimentar y reducir los errores en la perforación y la voladura, el costo de la perforación se redujo de 90.44 US\$ a 62.12 US\$ por metro lineal de progreso, lo que implicó una reducción del costo del 31.3%. Asimismo, los gastos de voladura se reducen de 75.07 US\$ a 60.92 US\$ por metro lineal de progreso, reduciendo el costo en un 18.85%.

Palabras claves: Optimización, diseño de malla

ABSTRACT

The main interest of my research was to establish to what extent geomechanical zoning facilitates the optimization of the grid design to reduce the drilling and blasting costs of the ramp in the Parcoy Mining Unit belonging to the Horizonte Mining Consortium SA.

To achieve the objectives of the study, the horizontal underground activities of the Parcoy Mining Unit of Consorcio Minero Horizonte SA were selected as the population, while the sample was selected as non-probabilistic and included the mining cycle that is executed on the ramp (RP1925) and the underground development tasks of the Afrodita vein.

Therefore, each execution procedure is examined based on Calvin's mathematical model. Istanbul. To obtain real-world data, 10 shots were tracked, achieving an average advance of 3.17 meters per shot, with an efficiency of 95%. Just as overbreak was reduced from 15.45% to 5.47% through the control of decoupled charges (shafts), to maintain improved performance, the new drilling and blasting pattern was implemented and standardized in RP1925. After experimenting and minimizing drilling and blasting failures, drilling costs decreased from US\$90.44 to US\$62.12 per linear meter of progress, resulting in a 31.3% cost reduction. Blasting costs also decreased from US\$75.07 to US\$60.92 per linear meter of progress, resulting in a 18.85% reduction in costs.

Keywords: Mesh design, optimization

INTRODUCCIÓN

La constante transformación y la exigencia de una mayor competitividad en la industria minera requieren la utilización de recursos, tecnología e investigación de vanguardia. En numerosas ocasiones, para establecer determinados parámetros de producción en la industria minera, se utilizan criterios antiguos o resultados que requieren ensayos de prueba y error. Ese procedimiento a menudo requiere un desembolso y uso de tiempo superfluos e innecesarios.

Las operaciones de perforación y voladura son fundamentales en el ciclo de minado que se realizan en la actividad minera. En la Unidad Minera de Parcoy del Consorcio Minero Horizonte SA, ubicada en la Unidad Minera de Parcoy, la rampa (RP1925) se realiza como uno de los trabajos de exploración y prioridad, con el propósito de preservar la veta Afrodita activa.

Dentro de ello se ha presentado una de las dificultades que surgieron fue el incremento de los gastos operativos. Estos incidentes se originan por diversas razones como: la falta de experiencia de los empleados, que durante la perforación no mantienen el paralelismo con los hastiales, y no llevan a cabo el correcto pintado de la malla de perforación. Los empleados sostienen que es debido a la ausencia de guías en el frente de avance, lo que provoca impactos adversos en el frente de la rampa, provocando sobreroturas debido a una perforación inadecuada. De igual forma, al realizar el cargado de explosivos se emplea más de lo necesario, en caso de un taco se eleva hasta aproximadamente 50 cm.

Todo esto sucede debido a la falta de control de los explosivos, los cuales también generan costos altos en relación al ciclo de minado, el uso incorrecto de las cañas para controlar la corona, la falta de perforaciones de precorte en esta unidad minera y en la perforación, provoca una sobrerotura que varía entre el 15% y el 38%. Esto conlleva la

demanda de un sostenimiento arduo que se torna más costoso e influye en los costos totales de las operaciones. Por todo ello se propone la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

El Autor

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación.....	2
1.3. Formulación del Problema	4
1.3.1. Problema general	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la Investigación	5
1.6. Limitaciones de la Investigación.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	6
2.2. Bases teóricas – científicas	10
2.2.1. Perforación	10
2.2.2. Tipos de perforación.....	10

2.2.3.	Malla de Perforación	11
2.2.4.	Voladura	15
2.2.5.	Aspectos a tener en cuenta en el diseño de la voladura.....	19
2.2.6.	Influencia que presenta el ángulo de Perforación en la voladura:	21
2.3.	Definición de términos básicos	21
2.4.	Formulación de hipótesis	23
2.4.1.	Hipótesis general	23
2.4.2.	Hipótesis específicas	23
2.5.	Identificación de variables	23
2.6.	Definición Operacional de Variables e Indicadores	24

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	25
3.2.	Nivel de investigación.....	25
3.3.	Métodos de investigación.....	26
3.4.	Diseño de investigación	26
3.5.	Población y muestra	26
3.5.1.	Población	26
3.5.2.	Muestra	26
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.6.1.	Descripción de Técnicas empleadas	27
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	28
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	28
3.9.	Tratamiento estadístico	28
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica	28

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	30
4.1.1.	La unidad minera Parcoy: Consorcio Minera Horizonte, ubicación del yacimiento	30
4.1.2.	Ciclo de Minado de La RP 1925	33
4.1.3.	Voladura	35
4.1.4.	Voladura controlada	43
4.1.5.	Ventilación	44
4.1.6.	Limpieza y acarreo de desmonte	45
4.1.7.	Sostenimiento	45
4.1.8.	Geomecánica	47
4.1.9.	Mapeo geomecánico	50
4.1.10.	Precios unitarios de Consorcio Minero Horizonte S.A.	51
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados,	56
4.2.1.	Sobrerotura	56
4.2.2.	Perforación	57
4.2.3.	Voladura	59
4.2.4.	Costos	61
4.2.5.	Diseño de la malla de perforación	66
4.2.6.	Cálculos para las dimensiones del corte en paralelo	66
4.2.7.	Propuesta en la malla de perforación RP1925.....	74
4.2.8.	Costos	78
4.2.9.	Comparación de costos de la malla de perforación anterior y propuesta .	83
4.3.	Prueba de hipótesis.....	84

4.3.1. Formulación de las Hipótesis.	85
4.3.2. Tratamiento estadístico e Interpretación de datos	86
4.4. Discusión de resultados.....	86
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación y Rutas de Acceso a la UM Parcoy	3
Ilustración 2. SEQ Ilustración *ARABIC 3. Tipos se Arranque	14
Ilustración 3. SEQ Ilustración *ARABIC 4. Modelos de Arranque.....	14
Ilustración 4. SEQ Ilustración *ARABIC 5. Modelos de Arranque II	15
Ilustración 5. SEQ Ilustración *ARABIC 6. Estructura Interna del Detonador	16
Ilustración 6. Detonadores Eléctricos	17
Ilustración 7. SEQ Ilustración *ARABIC 8. Detonador No Eléctrico	17
Ilustración 8. SEQ Ilustración *ARABIC 9. Detonador Eléctrico	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista panorámica de las Unidad Minera Parcoy	31
Figura 2. Perforación con jumbo electrohidráulico.....	33
Figura 3. Errores de perforación en los taladros	35
Figura 4. Detalles técnicos de Semexsa	36
Figura 5. Especificaciones técnicas de Exsablock	37
Figura 6. Accesorios de voladura	38
Figura 7. Corte en paralelo con cuatro secciones y resultados de las voladuras	42
Figura 8. Codificación geomecánica de Bieniawski	49
Figura 9. Valores y parámetros de clasificación	50
Figura 10. Malla estándar de perforación y voladura.....	58
Figura 11. Dimensiones del burden para las 4 secciones	68
Figura 12. Malla de perforación propuesta	74
Figura 13. Gráfico comparativo de costos con la malla anterior y propuesta	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acccesivilidad UM. Parcoy - CMH	4
Tabla 2. Operacionalización de Variables	24
Tabla 3. Coeficiente de roca, distancia entre perforaciones y tipo de roca	40
Tabla 4. Cálculos para cuadrantes	42
Tabla 5. Costo de mano de obra	51
Tabla 6. Costo de equipos.....	51
Tabla 7. Costo de aceros de perforación.....	52
Tabla 8. Costo de herramientas y materiales	53
Tabla 9. Costo de explosivos y accesorios	54
Tabla 10. Costo de Equipo de Protección Personal (EPPs).....	55
Tabla 11. Porcentaje de sobrerotura en la RP1925.....	56
Tabla 12. Eficiencia de perforación con jumbo electrohidráulico.....	59
Tabla 13. Cantidad de explosivo para el frente	60
Tabla 14. Rendimiento del explosivo	61
Tabla 15. Costos de Perforación.....	61
Tabla 16. Costo de herramientas y materiales de perforación.....	62
Tabla 17. Costo de voladura por disparos del frente	63
Tabla 18. Costo total de mano de obra	63
Tabla 19. Costo de Equipos de Protección Personal (EPPs)	64
Tabla 20. Resumen de costo de operaciones	65
Tabla 21. Resumen de costo de operaciones por metro lineal con la malla	65
Tabla 22. Dimensiones para el diseño de malla de perforación	73
Tabla 23. Eficiencia de perforación con la malla sugerida según el anexo 4.....	75
Tabla 24. Cantidad de explosivo para la malla propuesta	76

Tabla 25. Cantidad de explosivo para la malla propuesta	77
Tabla 26. Costo de perforación con la malla propuesta	78
Tabla 27. Costos de aceros, herramientas y materiales de perforación según la malla propuesta.....	79
Tabla 28. Costo de explosivos por disparo con la malla propuesta.....	80
Tabla 29. Costo de mano de obra para la malla propuesta	81
Tabla 30. Costo de implementos de seguridad con la malla propuesta	82
Tabla 31. Resumen de costo de operaciones unitarias con la malla propuesta	83
Tabla 32. Tabla comparativa de los costos de la propuesta anterior y del diseño propuesto	83
Tabla 33. Cuadro comparativo de costos del diseño anterior y el propuesto	85

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La perforación y la voladura son dos de las operaciones que conforman una unidad elementos clave en el ciclo de minado que se lleva a cabo en la actividad de minería. En la mina de Parcoy, perteneciente al Consorcio Minero Horizonte S.A., la rampa (RP1925) se lleva a cabo como una de las tareas de exploración y prioridad, con el objetivo de preservar la veta Afrodita.

Uno de los inconvenientes que surgió fue el incremento de los gastos operativos, estos incidentes se producen por diversas razones, como la falta de experiencia de los empleados, cuando se realiza la perforación, no gestionan el paralelismo con los que se encuentran en los lados hastiales, no llevan a cabo un correcto pintado de la malla perforada, los empleados sostienen que se debe a la ausencia de guías en el frente de avance, lo que provoca impactos adversos en el frente de la rampa, provocando sobrerotura debido a una perforación deficiente, del mismo modo, Cuando se cargan explosivos, se utiliza más de lo que es necesario; en el caso del taco, la carga sube hasta cerca de 50 cm. Al realizar la

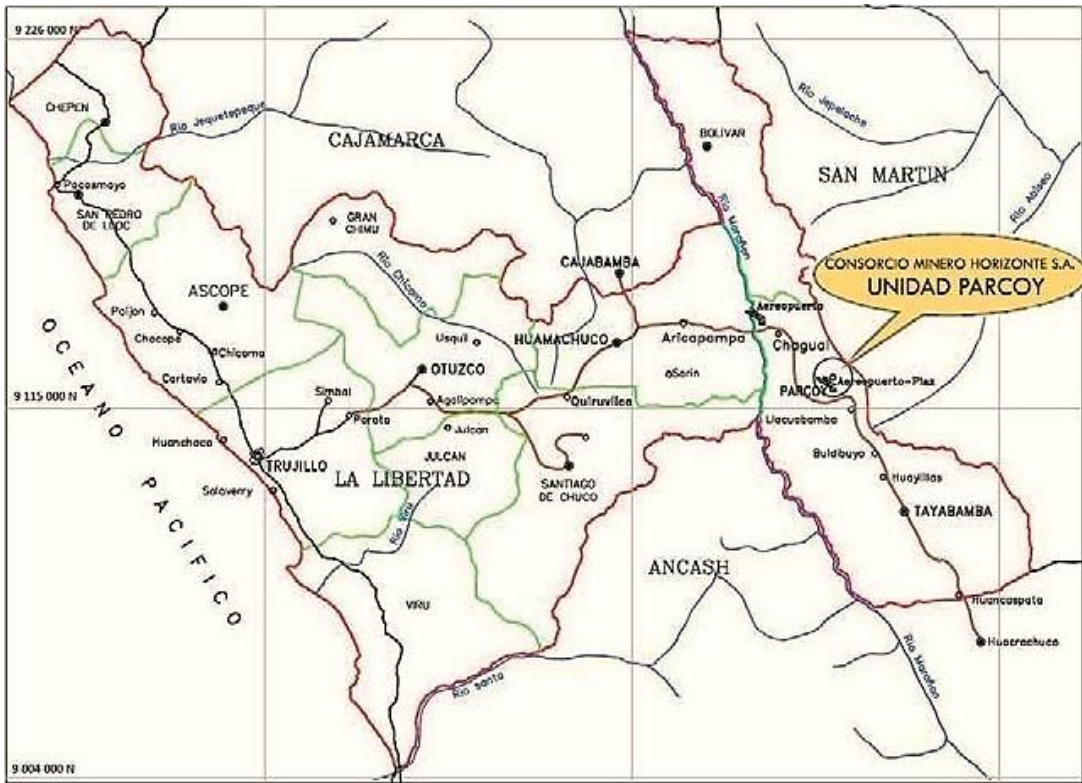
revisión de carga de los explosivos, se inspecciona que cargaban un 70%. Sin embargo, se aconseja que el volumen de carga de los explosivos sea 2/3 del taladro. Todo esto sucede debido a la falta de control de los explosivos, los cuales también generan costos altos en relación al ciclo de minado debido a la incorrecta utilización de las cañas para regular la corona, la falta de taladros de pre corte en la perforación y en esta unidad minera, la sobrerotura oscila entre el 15% y el 38%, lo que se traduce en la demanda de un sostenimiento pesado que se vuelve más costoso e impacta en los costos totales de las operaciones. La empresa propone un sobrerotura máximo del 10%, y una vez superado este porcentaje, se aplican las sanciones que también provocan los costos excesivos.

Delimitación de la Investigación

1.2. Delimitación de la Investigación

El Consorcio Minero Horizonte comprende la Unidad Minera Parcoy. Está ubicada en la confluencia de los ríos Parcoy y Llacuabamba en la localidad de Retamas, que forma parte del distrito de Parcoy, en la provincia de Pataz, en el departamento de La Libertad. Ubicada en la zona occidental de las regiones de La Libertad, con coordenadas geográficas de la zona occidental: Longitud Oeste: 77°27'30" y latitud: 08°02'30" Sudeste, con una altura media de 2750 metros s.n.m.

Ilustración 1. Ubicación y Rutas de Acceso a la UM Parcoy



Accesibilidad

El acceso a la unidad minera puede realizarse por vía terrestre a través de Trujillo-Huamachuco Chagual - Retamas, es necesario considerar en las temporadas de lluvias puede resultar un tanto peligroso. El tránsito aéreo se lleva a cabo a través de los caminos Lima - Aeródromo de Pías y Trujillo - Aeródromo de Pías, considerando que el aeropuerto es de tamaño limitado y solo pueden operar avionetas.

Tabla 1. Accesibilidad UM. Parcoy - CMH

VIA TERRESTRE				
Origen	Destino	Tipo de Vía	Tiempo (Hrs)	Distancia (Km)
Lima	Trujillo	Asfaltado	10	557
Trujillo	Huamachuco	Asfaltado	3	180
Huamachuco	Chagual	Afirmado	5	135
Chagual	Retamas	Afirmado	3	60
Total			21 Hrs	932 km

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Se podrá optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte?
- b. ¿Sera posible mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte.
- b. Mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte.

1.5. Justificación de la Investigación

La UM. Parcoy, en la región conocida como Rosa, posee dos estructuras fundamentales conocidas como veta Afrodita y veta Candelaria. Desde la rampa principal, la RP2800, se llevan a cabo dos tareas de preparación clave: la RP1925 para la minería de la veta afrodita y la RP1784 para la minería de la veta candelaria. El proceso de Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura, se llevará a cabo en la RP1925, un trabajo crucial y de gran relevancia para la extracción de la veta afrodita, para lo cual se requiere realizar el rediseño de la malla de perforación para su aplicación en toda la unidad, reduciendo los costos en las operaciones.

1.6. Limitaciones de la Investigación

En la Unidad Minera Parcoy, una de las limitaciones que se tuvo fue la falta de control del paralelismo en los hastiales de la rampa lo cual genera mucha sobrerotura en el macizo rocoso e inestabilidad, así mismo esto genera incremento de costos en las operaciones y demoras en los avances de la rampa objeto del proyecto de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

a. Antecedentes nacionales

- **Concha, R. (2020)**, de la Universidad Tecnológica del Perú, desarrolla su tesis “*Reducción y Optimización de Costos en Perforación y Voladura Implementando Barrenos de 16 Pies para Labores de Desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C.*”, El El objetivo de esta tesis es calcular la producción de una nueva malla de perforación .de 16 pies, con el propósito de reemplazar a la actual malla de perforación de 12 pies. El fin es determinar si es factible económicamente sustituir la malla para las actividades en desarrollo en el área. U.O magnífica. En esta Tesis, la metodología empleada se fundamentó en el cálculo de la magnitud.

Después se llevó a cabo la evaluación técnica y económica de las actividades de perforación y voladura en las tareas de trabajo de la construcción del macizo rocoso, desarrollo (recopilación de datos en

terreno) para la malla de 12 pies ya existente, posteriormente, en estas tareas se utilizó la malla de 16 pies, también se realiza una evaluación técnica y financiera de la misma malla, realizándose además una evaluación económica y técnica de la misma malla. Por Por último, se creó una tabla comparativa con los datos adquiridos en los estudios técnico-económicos de las dos mallas distintas. Se determina que la roca más común en el área analizada es de tipo (IIIB), principalmente "Andesítica", con un GSI de 50 y una media de 55 en RMR. Las mallas de perforación obtenidas después de comparar ambas variables son las siguientes:

- Progreso por voladura en la malla de 12 pies el avance en la malla de 16 pies es de 3.19 metros, siendo el avance en la valla de 4.29 metros.
- iv · La eficiencia por voladura en la malla de 12 pies se situó en el 96.84%, en comparación con el 97% en la malla de 16 pies.
- La malla de 12 pies registró un volumen de 56.58 metros cúbicos en comparación con los 76.05 metros cúbicos adquiridos en la malla de 16 pies.
- La tonelada que se fracturó para la malla de 12 pies registró un valor de 144.84TM en comparación con los 194.69TM que se originaron en la malla de 16 pies.
- El precio del acero por disparo en la malla de 12 pies se situó en 810.866 (\$/m) en comparación con 1051.247 (\$/m) en la malla de 16 pies.
- El costo de aceros perforados x pies fue de 0.057 dólares en la malla de 12 pies, en comparación con 0.05 dólares en la malla de 16 pies.

Para finalizar, este trabajo de tesis tiene como objetivo motivar a los alumnos a desarrollar e implementar nuevas técnicas para la ejecución de voladuras controladas, utilizando una malla de perforación que produzca una rentabilidad superior.

- **Cuellar, J. (2021)**, de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, presenta su tesis “*Optimización de los Índices de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa Patrick IV para la Reducción de Costos Operacionales, en la U.M. San Andrés CIA. Minera Marsa 2021*”; La intensificación de tareas en la minería subterránea en Perú presenta desafíos para optimizar los sistemas operativos. En la unidad de San Andrés de Minera Marsa S.A, se está llevando a cabo la inauguración de la Rampa Patrick IV. El mayor obstáculo de las operaciones mineras durante la apertura de la Rampa Patrick es la Sobrerotura, que aumenta los costos operativos, especialmente en la limpieza y en la generación de gastos desmedidos en la estabilidad de la rampa. Se ha propuesto la formulación y potenciación de los explosivos como solución a este problema, además de reducir la perforación desmedida. Se ha llevado a cabo la evaluación de las voladuras utilizando la nueva propuesta, consiguiendo mejoras en los indicadores clave de perforación y voladura. La carga total (Fc.) se reduce de 25 a 23,280 Kg/m, en cambio, la potencia total (Fp.) se reduce de 1,29 a 1,05 Kg/m³. Sin embargo, no se consiguió reducir la sobrerotura a lo esperado, dado que el indicador clave de sobrerotura superó el 9,41%. Se espera llevar a cabo nuevas propuestas de voladura controlada a través de un recorte que posibilite disminuir la sobrerotura al 100%.

b. Antecedentes Internacionales

- **Díaz, J. (2012)**, de la Universidad Nacional de Colombia, presenta tesis de investigación “*Análisis y Diseño de la Operación de Perforación y Voladuras en Minería de Superficie Empleando el Enfoque de la Programación Estructurada*”. Este artículo expone el estudio y la planificación del funcionamiento de las perforaciones y voladuras en la

minería de zona utilizando la metodología de programación ordenada. El objetivo de este trabajo es diseñar una interfaz que permita introducir con facilidad la densidad del explosivo, el diámetro y la dirección del orificio, así como la resistencia a compresión de la roca y las del banco. Después, se determina el valor de las variables más relevantes que influyen en el diseño del funcionamiento de la perforación y las voladuras, como la altura del banco, la carga, el espaciamiento, el taco, la carga del banco, el número de barrenos y el factor de carga, entre otras. Esta perspectiva facilita la planificación del proceso de perforación y voladura en un periodo más breve y reduce el error humano causado por la utilización reiterada de las fórmulas para calcular los parámetros implicados en el diseño de la perforación y voladura en la minería de superficie.

- **Ramos, M. (2018)**, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar - Chile, desarrolla la tesis “*Evaluación Económica y Ventajas Cualitativas en Implementación de Sistemas de Administración Estratégica de Perforación y Tronadura*”. En este estudio se propone el uso de tecnología enfocada en las operaciones de perforación y tronadura, tecnología que permite un monitoreo continuo y en tiempo real de las actividades involucradas en este proceso, con el fin de administrar datos como: información de perforación, secuencia, tiempos efectivos, datos del operador, longitud de pozos, bit y tipos de pozos, diseños de mallas, planos de carga, entre otros aspectos. Para poder medir qué se está haciendo correctamente y qué se está haciendo incorrectamente, con el fin de mejorar y, mediante la aplicación de estas tecnologías, favorecer

todo el proceso en su totalidad, ya sea optimizando el desempeño de los equipos, extendiendo su duración y disminuyendo los gastos durante todo el proceso.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Perforación

Según López (2000), La perforación se caracteriza por la actividad que tiene lugar dentro de la pared el proceso de voladura, cuyo propósito es la creación de espacios vacíos orificios de forma cilíndrica en el macizo rocoso para alojar el explosivo y los componentes para la voladura, estos orificios se conocen como taladros, barrenos, hoyos o blast holes dentro del procedimiento.

La correcta ejecución del procedimiento de perforación contribuye a obtener un confinamiento apropiado y de esta manera maximizar la energía del explosivo para la fractura del macizo rocoso.

La perforación debe considerar datos cruciales para elaborar un reporte de perforación, que debe atenerse a los datos siguientes:

- Lugar geográfico
- Autoridad de la competencia
- Suministros de fuentes, agua.
- Análisis del impacto en las zonas
- Evaluación de las repercusiones en las zonas cercanas
- Un diseño preliminar del proyecto.

2.2.2. Tipos de perforación

Perforación Manual

Se lleva a cabo utilizando barrenos, cuyo propósito es la extracción de residuos. De forma simple, el barreno se emplea con el apoyo de un ayudante,

mientras que otra persona impacta dicho barreno con el apoyo de un ayudante una comba girando hasta un cierto ángulo para iniciar el procedimiento de orificios.

Perforación Neumática

Ejecutada de forma tradicional, donde se utiliza la energía que produce el aire comprimido para crear huecos "Holes". Al darle golpes al barreno, la roca se fractura gradualmente.

Perforación Eléctrica

Se lleva a cabo mediante un generador eléctrico vinculado a una perforadora y ésta con un barreno de forma helicoidal, que permite la realización de taladros con una profundidad de hasta casi 1 metro de longitud. El reto radica en el sostenimiento de la perforadora, ya que debe mantenerse en una posición estable para conseguir la perforación.

Perforación hidráulica

Este tipo de perforación se encuentra categorizada como una perforación sumamente avanzada, gracias al empleo de personal robotizado, con habilidad para progresar y realizar perforaciones. En sus transmisiones, emplean la energía hidráulica para controlar la fuerza y los movimientos necesarios para la perforación. Este tipo de manejo se lleva a cabo mediante un tablero digital y un software de perforación específico.

2.2.3. Malla de Perforación

De acuerdo con EXSA (2009), Se conoce como malla de perforación a la colocación de taladros en el frentede avance con el fin de distribuir apropiadamente la energía del explosivo, con el objetivo de conseguir una fragmentación efectiva del macizo rocos.

El diseño de mallas requiere considerar diversos factores:

- Maquinaria utilizada en la perforación.
- Tipo de roca.
- Periodo para la realización de la tarea.
- Material de sostenimiento.
- Ventilación de la mina.

Las tareas en rocas competentes grandes con una superficie que no exceda los 100 metros cuadrados se llevan a cabo de una sola vez. Se prefiere la excavación en etapas cuando el macizo rocoso no es lo suficientemente apropiado para confiar en el auto sostenimiento, o si la sección es demasiado grande para los equipos existentes.

Se sostiene que un disparo simultáneo se produce cuando los taladros alcanzan la capacidad de realizar un disparo en conjunto, con el propósito de incrementar las caras libres, razón por la cual se emplea en sistemas de trabajo en la minería.

Según Lujan (2017), La cara libre se refiere al espacio por el que el material se mueve cuando es disparado, lo cual sucede a causa de la acción de los explosivos. Generalmente, una cara libre está enfrente, pero es necesario abrir otra cara libre; por eso se efectúan los disparos.

El resultado de llevar a cabo este trazo es la disminución de los costos y de las unidades de explosivos, lo cual permite tener un progreso significativo y Óptimo, que el trabajo se realice de manera equitativa y se logre establecer la secuencia de los taladros, así como su salida.

El corte o arranque se refiere a la apertura situada en el frente, creada por los taladros situados en el centro del trazo. Su objetivo principal es efectuar un corte para generar la cara libre, permitiendo así que los demás taladros puedan

realizar más de una cara libre, optimizando así la ergonomía y el aumento de taladros y explosivos necesarios.

Tipo de corte:

- Cortes angulares
- Cortes paralelos
- Cortes combinados

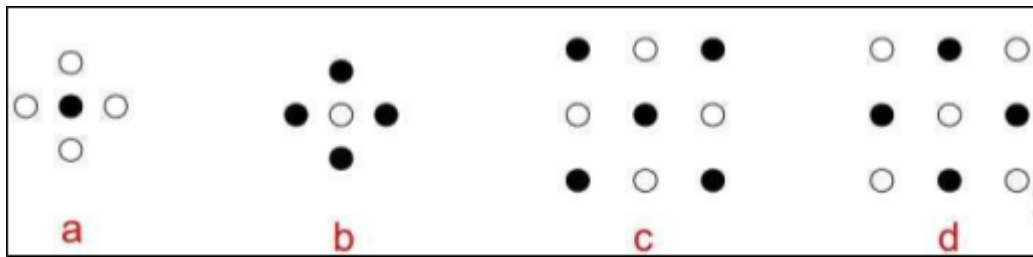
Lujan (2017) señala que los cortes angulares se denominan así porque los taladros generan un ángulo al perforar, con el objetivo de lograr una formación de cono con una profundidad uniforme que se basa en el terreno. Los cortes angulares incluyen cortes con forma de "v" y cortes de manera de pirámide.

Los cortes paralelos necesitan de más de tres perforaciones en posición horizontal, las cuales deben permanecer paralelas entre sí y también con el eje estructura. La separación entre los taladros se determinará por la dureza del terreno, a medida que el terreno sea más duro, la separación entre los taladros debe ser reducida.

De acuerdo con los cortes paralelos, se pueden observar las distintas características de corte que se detalla:

- El corte quemado, que conlleva la perforación de todos los taladros de forma paralela y con un diámetro homogéneo, no es imprescindible que todos los taladros estén necesariamente cargados, se realice con la finalidad de expandir la roca.

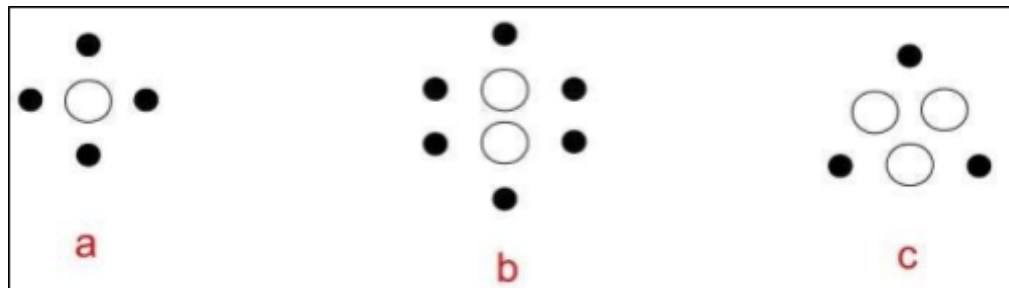
Ilustración 2. SEQ Ilustración *ARABIC 3. Tipos se Arranque



Fuente: Manual de EXSA

- El corte quemado ofrece beneficios como su elevada eficacia en terrenos de alta dureza y un progreso medio; sin embargo, uno de sus inconvenientes es el déficit que implica llevar a cabo las perforaciones tan próximas, el número de explosivos a emplear supera lo necesario en un corte angular.
- Cortes cilíndricos, Actualmente, se utiliza mucho en la minería subterránea porque usa perforadoras de alivio con un diámetro mayor a 3". Esto se hace para conseguir una cara libre más grande, y el avance es significativo.

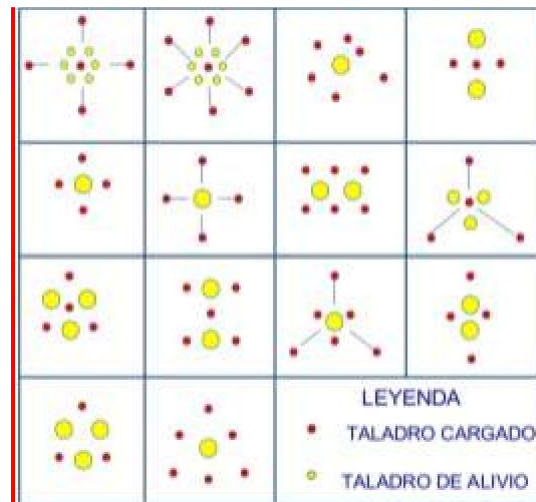
Ilustración 3. SEQ Ilustración *ARABIC 4. Modelos de Arranque



Fuente: Manual de EXSA

Este tipo de corte ha demostrado un progreso positivo, además de su eficacia en terrenos duros; respecto al tiempo de perforación, demanda un periodo superior al promedio, pero los resultados son los previstos.

Ilustración 4. SEQ Ilustración *ARABIC 5. Modelos de Arranque II



Fuente: Manual de EXSA

2.2.4. Voladura

Según Romero (2016), Se denomina voladura al procedimiento que consiste en utilizar explosivos para fragmentar un macizo rocoso, tanto en minas subterráneas como de tajo abierto.

Los sistemas de detonación, también llamados detonadores, pueden utilizarse en tajo abierto y en socavón, con el objetivo de conseguir el inicio en el barreno, que es el cartucho que inicia con la explosión.

La selección de detonadores se basa en las demandas del ambiente y la manera en que se utilizarán en las conexiones. Los siguientes son algunos de los distintos tipos de detonadores:

- Detonadores ordinarios

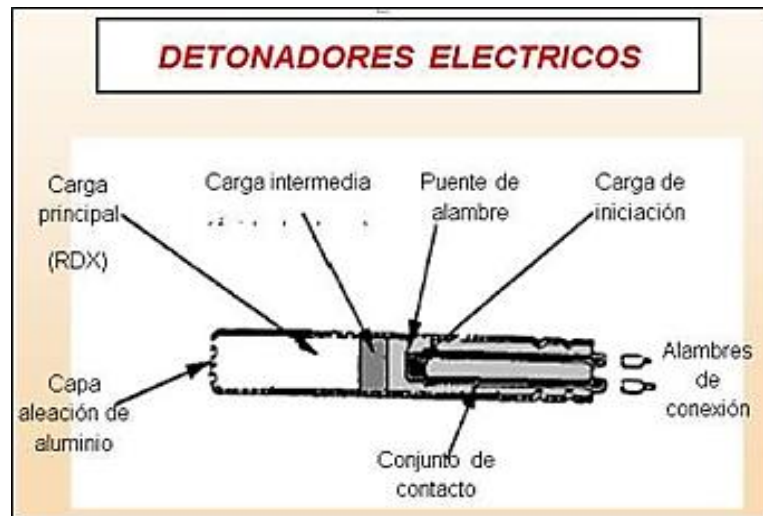
Ilustración 5. SEQ Ilustración *ARABIC 6. Estructura Interna del Detonador



Fuente: FAMESA (2017)

- Eléctricos:
 - Los detonadores que poseen la característica eléctrica son aquellos que se activan de esta forma, se distinguen por su fiabilidad, facilitando una adecuada producción de la voladura y proporcionando resultados adecuados.
 - El funcionamiento de un detonador eléctrico implica el flujo de corriente a través de los hilos que atraviesan una resistencia de cerilla. Este flujo se lleva a cabo con una intensidad que provoca un calentamiento, lo que provoca un aumento de la temperatura.
 - Los detonadores con tiempo se diferencian debido a que esa cerilla causa la combustión de un retraso, otorgando tiempo de combustión para el arribo de la carga.
 - Los detonadores inmediatos hacen que la cerilla detone la carga principal y, a su vez, la secundaria.

Ilustración 6. Detonadores Eléctricos



Fuente: FAMESA (2017)

- No eléctricos

Su operación se produce al impacto de ondas que provocan la detonación. Esta onda no afecta la columna del detonador, lo que lo favorece al permitir su inicio en el fondo, ya que el reactivo se presenta en una cantidad mínima.

Ilustración 7. SEQ Ilustración *ARABIC 8. Detonador No Eléctrico



Fuente: FAMESA (2017).

- Electrónico

Estos detonadores implican un cierto retraso aplicado mediante un microchip, utilizan la energía almacenada en los condensadores, ya sean uno o varios, logrando el retraso de forma electrónica, en contraposición a los detonadores eléctricos y no eléctricos que lo realizan de forma pirotécnica.

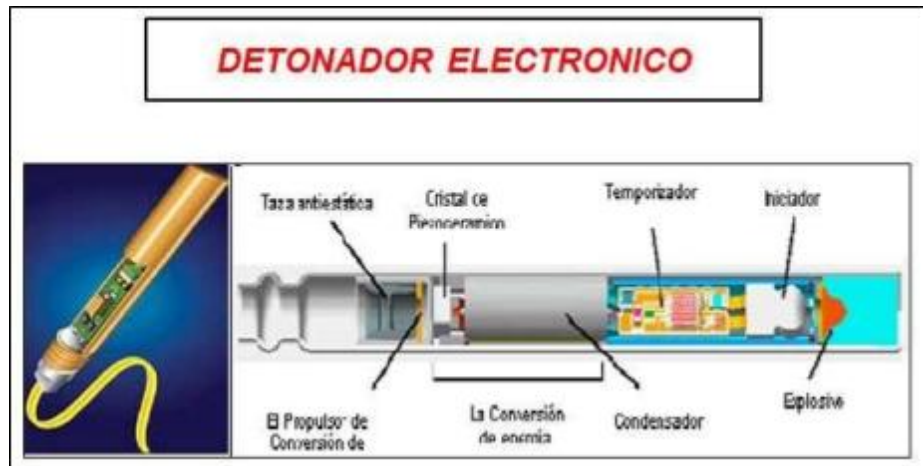
Los detonadores poseen un microchip catalogado con su respectivo número de serie, y poseen una programación específica, capaces de realizar las detonaciones secuencialmente desde los 0 a 25 segundos de diferencia. Si se produce el caso de que algunos de estos detonadores no muestren código escaneado, estos detonadores se detonarán una vez finalizados todos los demás, con el propósito de eliminar todos los peligros de detonar en medio de escombros.

Son detonadores de alta precisión, con la capacidad de programar la detonación con el retraso necesario, solo comienza la respuesta eléctrica que ha sido previamente codificada, su conexión es fácil de gestionar.

Su habilidad para adaptarse se manifiesta cuando ajusta los retrasos tantas veces como sea necesario, y los resultados de la voladura son más ventajosos que los de otras opciones.

El principal problema radica en el equipo que lo gestiona, puesto que mencionado equipo requiere estar anticipadamente capacitado para tal labor.

Ilustración 8. SEQ Ilustración *ARABIC 9. Detonador Eléctrico



Fuente: FAMESA (2017)

2.2.5. Aspectos a tener en cuenta en el diseño de la voladura

Según Bernaola, Castilla y Herrera (2013) La voladura necesita la utilización de múltiples técnicas basadas en el cálculo de varias, las cuales pueden ser logradas mediante el desarrollo de métodos de explotación; Lo fundamental es determinar si la voladura alcanza su nivel ideal, lo cual puede deducirse siempre que los resultados de esta coincidan con la verificación de las metas establecidas.

La meta de una voladura consiste en la fragmentación del material, además del desplazamiento sin impactar diversos factores que no están relacionados con la voladura.

Para alcanzar el objetivo, se toman en cuenta principios fundamentales que contribuyen al control y al diseño, entre los que podemos mencionar los siguientes:

- La cantidad de energía requerida para cada caso.
- La correcta distribución de la energía, donde un producto conlleva una transformación tanto química como mecánica de la energía, lo que puede

provocar una fragmentación incorrecta si se efectúa una distribución incorrecta.

- La energía confinada, de manera que los gases que se generen se almacenen en los barrenos, evitando así la pérdida de energía.

También se reconoce que hay factores geométricos vinculados con la explotación directa. Dentro de estos se incluyen los siguientes:

- Diámetro que presenta el barreno.
- La altitud del banco.
- La inclinación del barreno.
- La cantidad de barrenos.
- La longitud de los barrenos.
- Su distribución.

Bernaola, Castilla y Herrera (2013), Los factores que influyen en la construcción de la roca son su macisidad, entre los cuales se definen parámetros para su regulación y lograr un desempeño óptimo en la voladura. Estos elementos que influyen son:

- Firmeza de la roca.
- Dureza de la roca.
- Sismicidad.

Los explosivos además poseen elementos que pueden resultar dañinos si no se mantiene un control adecuado. Estos elementos inherentes son:

- Densidad.
- Presión.
- Potencia.
- Carga de explosivo.

- Velocidad.
- Secuencia de la voladura.

2.2.6. Influencia que presenta el ángulo de Perforación en la voladura:

Bernaola, Castilla y Herrera (2013), Los diferentes métodos de voladura que se realizan en tajo abierto, generalmente se realizan a través de barrenos verticales o también barrenos inclinados.

Las dos opciones de barrenos implican retos, los barrenos deben colocarse en paralelo, con la voladura orientada hacia el frente, para crear un ángulo de inclinación que asegure su estabilidad. La carga existente en los barrenos favorece la acumulación y el uso eficaz de la energía, previniendo de esta manera cualquier tipo de vibración.

La utilización de una malla extensa contribuye a reducir el consumo energético del explosivo. Sin embargo, el inconveniente de esta inclinación es que incrementa el uso de fungibles durante la perforación y complica la alineación que deberían tener los barrenos.

2.3. Definición de términos básicos

Análisis de Costos. Procedimiento a través del cual se determina si un proceso de tu empresa, o de toda tu empresa, está siendo o no lucrativo.

Broca. Elemento de corte del barreno, generalmente extremadamente duro o muy duro, similar al de un diamante artificial (carborundo) o al carburo de tungsteno.

Burden. Es la distancia entre el lado vacío de una malla perforadora y un taladro saturado con explosivos. El peso se determina principalmente por el diámetro de la perforación, las propiedades del macizo y las especificidades del material explosivo.

Dinamita. El material explosivo que identifica el fulminante actúa como el primer impulsor para producir energía. Primero, en las dinamitas, la nitroglicerina desempeña un papel de sensibilizante.

Discontinuidades. En términos geológicos, se trata de planos de procedencia metamórfica o sedimentaria que separan las unidades geológicas del macizo rocoso.

Emulsión. Son explosivos inversos de tipo agua-aceite, compuestos por dos etapas líquidas: Una fase continua, principalmente compuesta por la fusión de hidrocarburos, y otra fase dispersa, que implica una disolución acuosa de las sales oxidantes en forma de minúsculas gotas de nitrato de amonio.

Espaciamiento. Hace referencia al contraste entre taladros de la misma fila o área de influencia saturada de explosivos en una malla perforadora.

Explosivos. Son sustancias químicas que pueden desintegrarse rápidamente y que al instante producen un enorme volumen de gases a altas presiones y temperaturas, causando efectos de desolación.

Fulminante común. Es un contenedor de aluminio en forma de tubular sellado en uno de sus extremos, que alberga una cantidad determinada de explosivo primordial que es extremadamente sensible al centello de la mecha común (de seguridad) y/o a otro explosivo secundario de mayor potencia detonante.

Macizo rocoso. Se refiere a la estructura geológica natural que se compone de la matriz de roca y sus discontinuidades.

Proceso de voladura. Está compuesto por varias que tienen como objetivo provocar una explosión (voladura).

Roca. Cualquier mezcla natural de minerales, incluyendo las rocas, constituye la litosfera (corteza de la Tierra).

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la realización de la Optimización del Diseño de Malla se Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Si optimizamos el diseño de la malla de perforación y voladura se reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.
- b. Si mejoramos la perforación y la voladura se controlará el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte

2.5. Identificación de variables

- Variable Independiente

X: Optimización del Diseño de Malla de la Rampa en la UM. Parcoy.

- Variables Dependiente

Y: Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 2. Operacionalización de Variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Optimización del Diseño de Malla de la Rampa en la UM. Parcoy.	Una malla de perforación tiene la finalidad distribuir los taladros. Para tal caso se tomó en cuenta la información del macizo rocoso que es de RMR 31 y RMR 40. El diseño que se tiene actualmente es de manera convencional, ya que no existe una malla predeterminada. Para el cálculo de sobrerotura tomamos en cuenta la sección diseñada de la labor (3.50mx3.50m), la sección real después de la voladura (3.86mx3.76m) y 2.84 de avance efectivo.	Plan de Mina Operaciones Mineras Ciclo de Minado	Profundidad de taladro Numero de taladros Burden Espaciamiento Paralelismo
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy.	La UM. Parcoy, en la zona denominada Rosa cuenta con dos estructuras principales llamada veta Afrodita y veta Candelaria, a partir de la rampa principal que es la RP2800 se ejecutan dos labores de preparación principales que son la RP1925 para minar la veta afrodita y la RP1784 para minar la veta candelaria. El proceso de Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura, se realizará en la RP1925, una de las labores principales y de mucha importancia para la explotación de la veta afrodita,	UM. Parcoy Consorcio Minero Horizonte	Malla de Perforación Parámetros Costos

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

- Basándonos en la Optimización del Diseño de Malla para Disminuir los Gastos de Perforación y Voladura, se establece que realizamos una investigación de naturaleza cuantitativa.
- Aplicada: El diseño de la Malla de Perforación y Voladura busca disminuir los costos.
- Experimental: El estudio de la perforación y la voladura para disminuir los gastos en las operaciones de la UM se reduce. Parcoy
- Documental: Por toda la documentación realizada y obtenida para la ejecución de la investigación.
- De campo y de laboratorio: Por los resultados obtenidos tanto en el campo como en gabinete en la ejecución de la investigación.

3.2. Nivel de investigación

Esta investigación es de carácter Descriptivo, ya que de acuerdo con Carrasco Díaz (2015), Una investigación descriptiva nos habla y hace referencia

a las propiedades, atributos internos y externos, características y rasgos esenciales de los sucesos y fenómenos de la realidad, en un momento y período histórico concreto y específico.

3.3. Métodos de investigación

Teniendo como enfoque cuantitativo, hipotético deductivo, paradigma positivista y el alcance de naturaleza descriptiva, se tiene:

Método deductivo: Evaluación de la información general para alcanzar una conclusión específica.

Método inductivo: En la obtención de conclusiones a través de la observación y la conclusión, y luego de analizar y buscar el esquemas o diseño para mejorar y/o solucionar lo detectado

3.4. Diseño de investigación

Se tiene un diseño corresponde a la investigación cuantitativa, descriptiva y correlacional, que permite efectuar el control de la perforación y voladura para realizar el análisis y determinar un diseño adecuado de la malla, para la perforación y reducir los costos en las operaciones de la UM. Parcoy.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Está determinada por el Tipo de Roca que circunda el proyecto que servirá como referente para la ejecución de la investigación, ya que mediante estas características se efectuará la optimización de la malla de perforación.

3.5.2. Muestra

La Muestra se tomó en el inicio de la rampa y luego de cada disparo efectuado, para determinar la secuencia del Tipo de Roca, como referencia fundamental para el diseño de la malla de perforación

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Descripción de Técnicas empleadas

- **Selección y análisis de datos**

Se realizó la caracterización geomecánica, detalle fundamental para determinar el Tipo de Roca.

- **Observación directa y toma de datos**

Las observaciones realizadas en cada disparo nos dan las referencias necesarias para efectuar el diseño de la malla de perforación.

- **Búsqueda de información bibliográfica**

Se tiene como referencia la información de diferentes minas que realizaron el mismo procedimiento para reducir costos en la perforación y voladura, teniendo como detalle principal la calidad del macizo rocoso fundamentalmente

Instrumentos de Recolección de Datos

- **Materiales**

- Planos topográficos.
- Parámetros de la perforación.
- Informes Geotécnica – Geomecánica de la Mina.
- Reporte de procesos de perforación y voladura realizados.
- Mallas de Perforación utilizadas.
- Informe de fenómenos imprevistos en la perforación.
- Libreta de campo.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.

- Documentos de registro. Se emplea para documentar los datos de las observaciones realizadas.
- Disponibilidad de archivos técnicos. El objetivo es obtener datos sobre los procedimientos en mina.
- Formulario de información y formato de campo. Se comprende todo lo relacionado con la seguridad, en cuanto a los trabajos a realizar con la seguridad correcta.
- Conversación en charlas para aclarar los problemas planteados.
- Capacitaciones dirigidas a los trabajadores.
- Creación de tablas y diagramas. Para valorar los resultados de comparación.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La técnica aplicada fue la de llevar un control sistemático por cada tipo de roca, para tener un adecuado detalle para determinar el tipo de malla de perforación a estandarizar de acuerdo al RMR que presentan, lo cual permitirán reducir los costos en la perforación y en todo el proceso de las operaciones de la UM. Parcoy.

3.9. Tratamiento estadístico

Las unidades experimentales que genera la Perforación y Voladura, para su aplicación los cuales admiten obtener una estadística de todos sus procesos y con estos se obtienen un modelo estadístico que reflejaran todos los resultados obtenidos.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La ética es tener una referencia a la afirmación de la conciencia individual por que se realiza o actúa, proceso fundamental en la formación de la persona

tanto profesional como socia, además de las reglas impuestas por la sociedad que se deben aplicar para no tener malos hábitos en la vida.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. La unidad minera Parcoy: Consorcio Minera Horizonte, ubicación del yacimiento

El cruce de los ríos Llacuabamba y Parcoy se encuentra en la Unidad Minera Parcoy, que es parte del Consorcio Minero Horizonte SA. Esta unidad está situada en el núcleo urbano de Retamas, en el distrito de Parcoy, provincia de Pataz, región de La Libertad. Se encuentra en el sector occidental del departamento, con una altitud media de 2780 metros sobre el nivel del mar. Se ubica en las siguientes coordenadas geográficas:

ALTITUD: 08° 01' 06" S

LONGITUD: 27° 28' 45" W UTM N-9 112 976.240, E -227 281.330. La mina de oro está a 500 kilómetros. Ubicado al Norte de Lima, en la cumbre oriental de la Cordillera Andina, y pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Marañón, es un componente de la Cuenca Hidrográfica del Marañón. Según la Carta Geológica del Instituto Geológico, titulada "Hoja de Tayabamba" (17-I).

Los espacios operativos se encuentran próximos a las comunidades de Retamas, La Soledad, Parcoy, Lúcumas y Llacuabamba.

Figura 1. *Vista panorámica de las Unidad Minera Parcoy*



A. Geología Regional

La unidad minera Parcoy exhibe una geología regional que se encuentra en las fosas tectónicas del Marañón. Varios estudios llevados a cabo en las cercanías del lugar se centraron en la mineralización de oro y otras formaciones rocosas reportadas dentro del yacimiento. Estudios contemporáneos han tratado asuntos geoquímicos, isótopos, dataciones e inclusiones líquidas, lo que ha llevado a sostener que se trata de acumulaciones de áurea, en la mayoría de casos situados en el flanco occidental de batolito. Sin embargo, aún no se ha realizado un estudio detallado de la cartografía regional del batolito y de las unidades litoestratigráficas que conforman la estructura geológica de su roca caja (Zarate, 2006)

B. Geología Local

La geología de la unidad minera Parcoy se distingue por la semejanza entre las fallas y el desplazamiento de la tierra. Los restos de Mesozoico y Cenozoico son las piedras que se encuentran en el área. La unidad minera Parcoy se encuentra dividida entre la falla regional por Parcoy, en la región central por Pataz y en la región oriental por los vestigios volcánicos.

4.1.1. Operaciones en Mina

Descripción de la Rampa (RP125)

La mina en la zona Rosa dispone de dos estructuras fundamentales conocidas como la veta Afrodita y la veta Candelaria. Desde la rampa principal, la RP2800, se llevan a cabo dos tareas de preparación clave, la RP1925 para la explotación minera de la veta afrodita y de la RP1784 para la explotación minera de la veta candelaria. Este trabajo se llevará a cabo en la RP1925, constituyendo una de las tareas más relevantes e importantes para el aprovechamiento de la veta afrodita.

● Labores de Preparación

Para llevar a cabo la fase de preparación, debemos considerar el tipo de mineral y la roca que se va a extraer, con el fin de organizar todas las tareas requeridas para conseguir la extracción del mineral. En este contexto, se utiliza la técnica de corte y relleno ascendente. Para comenzar el proceso de extracción, al principio se llevó a cabo una subida con un gradiente negativo del 15%. Se realizaron cruceros de 3.50m x 3.50m con una inclinación del 1% en el punto RP1925 para alcanzar la veta. Una vez localizada la veta, se continúa con galerías con un gradiente de 1%.

4.1.2. Ciclo de Minado de La RP 1925

Perforación

En la actividad minera, es esencial una adecuada perforación. Si se realiza una perforación inadecuada, repercute en la carga de explosivos y en el progreso previsto. El modelo de Jumbos electrohidráulicos RP1925 Sandvik se emplea en la unidad minera Parcoy, conocido como Axera. (EXSA S.A., 2021).

Figura 2. *Perforación con jumbo electrohidráulico.*



Equipos de perforación

En el sector minero, existen numerosos equipos de perforación, cada uno con una característica específica en términos de percusión, rotación o la combinación de ambas. La instalación minera opera con el Jumbo electrohidráulico (EXSA S.A., 2021). ver **Figura 2.**

Accesorios de Perforación.

- a. **Brocas:** En el sector minero, es imprescindible que las brocas utilizadas posean una elevada resistividad, ya que, en la minería, el trabajo de perforación es crucial y su empleo es constante. En la unidad minera, se

utilizan brocas de tungsteno. Es imprescindible comprobar que los insertos se encuentren en condiciones ideales. (Sánchez, 2014).

- b. Barrenos o Barras:** Se Emplea, en la industria minera, barrenos o barras que poseen una gran resistencia a la percusión y a la rotación. Hay varios modelos de barrenos, y su aplicación varía según la perforación que se realice. La unidad minera Parcoy emplea modelos de forma hexagonal. Se ubican con facilidad dado que su extremo es de rosca. (Sánchez, 2014).

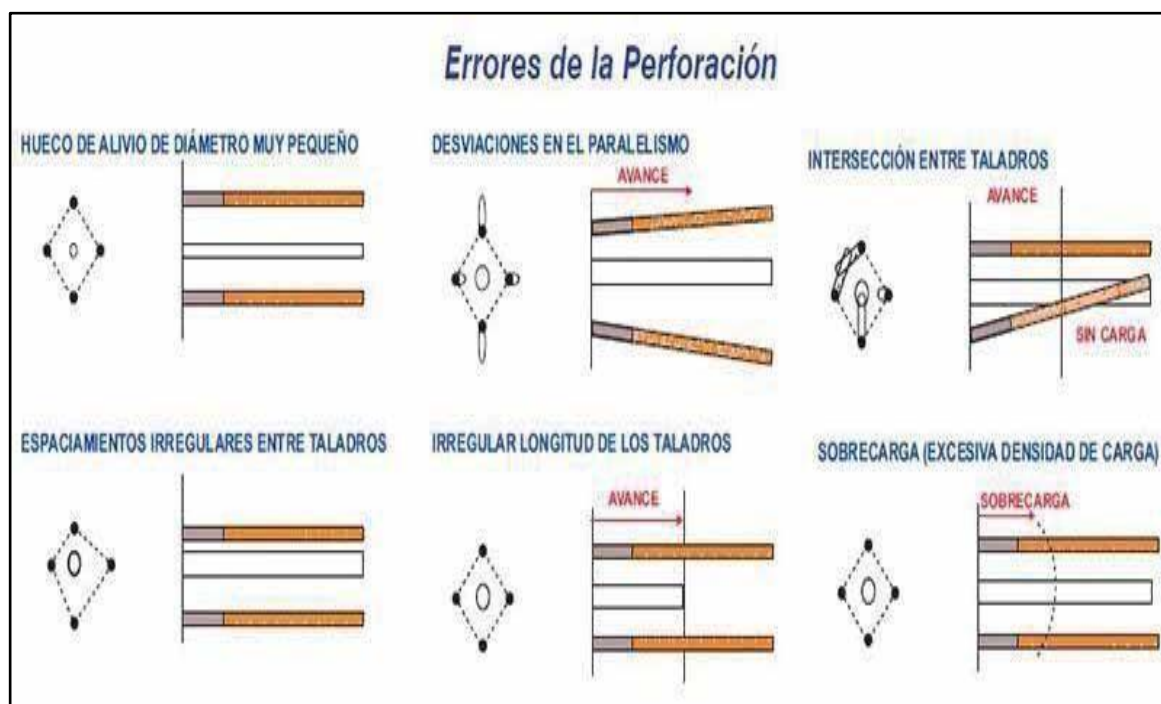
Errores de perforación:

Si el perforista no tiene experiencia o no puede concentrarse, existen múltiples fallas en la perforación que podrían ser atribuibles al perforista o a su equipo. No se deben utilizar barrenos o brocas que muestren signos de deterioro si el equipo no puede permanecer en condiciones óptimas. (Guarín & Jiménez, 2012). Ver **figura 3**.

- a. Desviaciones en el paralelismo:** Las desviaciones pueden surgir a causa de una perforación manipulada de manera incorrecta, entre otros factores. La sección del frente de avance no será uniforme si no hay un paralelismo. (Guarín & Jiménez, 2012).
- b. Espaciamientos irregulares entre taladros:** Los espacios entre los taladros provocan una voladura ineficiente, una fragmentación deficiente de la roca y el riesgo de no lograr la voladura. (EXSA S.A., 2021).
- c. La irregular longitud de taladros:** Para que la superficie liberada sea uniforme, es necesario que la longitud de una perforación lo sea también. Otro aspecto es que el alivio no tiene la profundidad adecuada para su superficie. (Guarín & Jiménez, 2012).

- d. **Mayor número de taladros:** En caso de aumentar la cantidad de taladros, el empleo del material de voladura sería más intensivo, lo que conllevaría un aumento en los costos. Un aumento en la sección y en la carga es otro factor que causaría un retraso en el funcionamiento. (Cáceres, 2017).

Figura 3. Errores de perforación en los taladros



Fuente: (Departamento de perforación y coladura CMH S.A.)

4.1.3. Voladura

La unidad Parcoy utiliza dos productos para llevar a cabo la voladura: el exsablock y el semexa 65. El primer producto se usa en el lugar RP1925, y el segundo en los frentes de producción. Se emplea carmex, fulminante para iniciar la voladura y la detonación se realiza de manera manual. (EXSA S.A., 2021)

Semexsa

Es una dinamita semi gelatinosa extremadamente adaptable debido a sus características explosivas, que pueden fluctuar dependiendo de las circunstancias, notándose un fuerte efecto empujador o un alto poder de fracturación. Su

utilización resulta efectiva para explotar rocas de dureza intermedia o dura.
(EXSA S.A., 2021)

Se emplear en canteras, minería subterránea y construcciones civiles debido a su elevado rendimiento, su capacidad de adaptación y su gestión segura. Esto genera un comportamiento óptimo para trabajos limitados como rampas, chimeneas o piques.

Por último, su correcta transmisión de energía a la roca reduce los daños en el área cercana al taladro.

Figura 4. *Detalles técnicos de Semexsa*

Especificaciones técnicas	Unidades	Semexsa 45	Semexsa 65	Semexsa 80
Densidad	g/cm ³	1.08 ± 3%	1.12 ± 3%	1.18 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3,800 ± 200	4,200 ± 200	4,500 ± 200
Presión de detonación	kbar	87	94	125
Energía**	KJ/kg	3,338	3,433	3,747
RWS**	%	89	92	99
RBS**	%	120	127	147
Volumen de gases	l/kg	1,016.	1,015	989
Resistencia al agua	Horas	Buena	Muy buena	Excelente
Categoría de humos	Categoría	1 era.	1 era.	1 era.

Fuente: (Departamento de perforación y coladura CMH S.A.)

Exsablock

Es la dinamita de baja energía que se utiliza frecuentemente en voladuras controladas, ya que previene la rotura excesiva de la roca residual, además evita la dilución del mineral. Además, se utiliza en el cambio de dimensiones de la roca. Además, garantiza la estabilidad en la roca cercana, reduciendo la expansión de la red de fisuras ya existentes, minimizando los peligros de caída del techo y garantizando la integridad de los individuos, las instalaciones y los equipos.

Figura 5. Especificaciones técnicas de Exsablock

Especificaciones técnicas	Unidades	Exsablock
Densidad	g/cm ³	0.91 +/- 5%
Velocidad de detonación*	m/s	2,800 +/- 200
Presión de detonación**	kbar	23
Energía**	Kj/kg	1720
RWS**	%	45
RBS**	%	54
Volumen de gases**	l/kg	771
Resistencia al agua	Horas	Nula
Categoría de humos	Categoría	1 era

Fuente: (Departamento de perforación y coladura CMH S.A.)

Fulminante o detonador

El fulminante se emplea en el proceso de voladura, posee una forma cilíndrica y es altamente susceptible a los impactos. Este se vincula a una mecha de protección. Cuando ocurre la explosión, el fulminante interactúa con la dinamina. (Famesa, 2018).

Mecha de seguridad

El proceso de voladura utiliza la mecha de protección. La propiedad que tiene es la de propagar el fuego progresivamente. Está compuesto de algodón y pólvora, y está cubierto con plástico. La mecha de protección está vinculada al fulminante. (Famesa, 2018).

Conector de ignición

Es un casquillo de aluminio que tiene un corte lateral u ojal y una masa pirotécnica capaz de recibir la llama de la mecha rápida y transferirla a la guía de seguridad, generando el encendido. (Famesa, 2018).

Mecha rápida

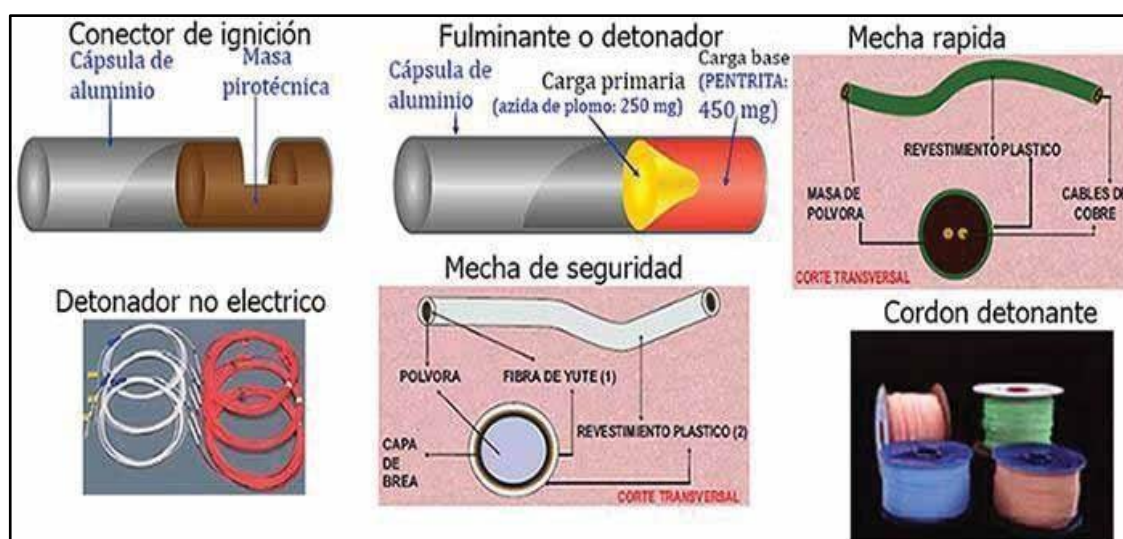
Asegurar una detonación controlada y coordinada en las tareas de voladura, es fundamental este sistema de arranque. El empleo de guías y de

interruptores de seguridad asegura una correcta propagación del encendido y reduce los peligros asociados a las explosiones. (Famesa, 2018).

Cordón detonante

La combinación de estas características convierte al cordón detonante en un instrumento que se emplea con frecuencia en la industria minera y en las actividades de demolición reguladas. Su habilidad para adaptarse y su resistencia posibilitan su uso en una variedad de terrenos y situaciones laborales, mientras que su estructura protegida asegura la seguridad y estabilidad durante la manipulación o detonación. (Famesa, 2018).

Figura 6. Accesorios de voladura



Fuente: (EXSA S.A., 2021)

Detonador no eléctrico

Los detonadores de retardo no eléctricos consisten en tubos de plástico estrechos, semejantes a los cordones detonantes, que llevan una onda de choque desde el punto inicial hasta un detonador. De acuerdo con las manufacturas que los producen, pueden ser: Mininel, Exsanel, Fanel, etc. (EXSA S.A., 2021).

Tipos de arranques y cálculo de voladuras

Se conoce como corte, cuele o arranque la creación de una cavidad inicial, con el fin de producir otra superficie libre amplia que facilite el paso posterior del resto de la sección. Se clasifica en dos grupos fundamentales: arranques con brocas en ángulo o diagonal y arranques con brocas en paralelo. Estos se dividen en dos grupos principales: los que empiezan con perforadoras de ángulo o inclinadas. (EXSA S.A., 2021).

Corte en paralelo

Las perforaciones del corte paralelo tienen una profundidad uniforme, lo que caracteriza a este tipo de corte. Para abrir otro lado de cara al siguiente corte, es esencial que el frente sea uniforme. Para alcanzar esta uniformidad, se emplean instrumentos como el jumbo con brazos que proporcionan paralelismo constante y profundidad. (EXSA S.A., 2021).

- a. **Corte quemado:** El corte quemado se distingue por poseer múltiples perforaciones de la misma profundidad, lo que producirá una superficie libre uniforme en el momento de la voladura.
- b. **Corte cilíndrico:** Este corte posee propiedades parecidas al corte quemado, dado que los taladros deben ser homogéneos en profundidad. La diferencia con el otro método radica en que existirán taladros con distintos tamaños de diámetro. Para el método de corte cilíndrico, es crucial identificar correctamente el barden.

Para realizar una voladura de un frente, es necesario tener en cuenta el análisis geológico que nos indica el tipo de roca y el tipo de depósito. Es necesario determinar qué clase de equipos se emplearán, tales como jac let, jumbos, entre

otros, y qué tipo de explosivo se empleará. Entendiendo todas estas propiedades, es posible elaborar una malla de perforación. (Famesa, 2018).

La cantidad de taladros puede determinarse mediante la siguiente fórmula matemática:

$$N^{\circ} Tal = \frac{P}{s} + c * A \quad (1)$$

$$\bar{P} = 4\sqrt{A} \quad (2)$$

Donde:

P: Perímetro de la sección de la labor (m)

A: Área o sección de la labor – cara libre (m²)

S: Distancia entre taladros de la sección (m)

C: Coeficiente o factor de la roca

Tabla 3. *Coeficiente de roca, distancia entre perforaciones y tipo de roca*

Dureza de la roca	Distancia entre taladros (m)	Coeficiente de la roca (m)
Tenaz	0.50 – 0.55	2.00
Intermedia	0.60 – 0.65	1.50
Friable	0.70 – 0.75	1.00

Fuente: (EXSA Explosivos, 2009)

Utilizo el modelo matemático de Calvin J. Konya para calcular las dimensiones del corte en paralelo

- a. **Taladro (s) vacío (s) (DH):** Se denomina DH al diámetro del barrenos de alivio vacío. Si se usan múltiples barrenos vacíos, es necesario calcular el diámetro equivalente a uno solo que incluya el volumen total de todos los barrenos vacíos.

$$DH = Dh\sqrt{N} \quad (3)$$

Donde:

DH: Diámetro equivalente de un solo taladro vacío (mm)

Dh: Diámetro de los taladros vacíos (mm)

N: Número de taladro vacíos

- b. Profundidad de Taladro (H):** Los taladros tienen la capacidad de fracturar hasta un 95% o más de su profundidad total:

$$H = \frac{DH + 16.51}{41.67} \quad (4)$$

Donde:

H: profundidad del taladro (m)

DH: Diámetro del taladro equivalente (mm)

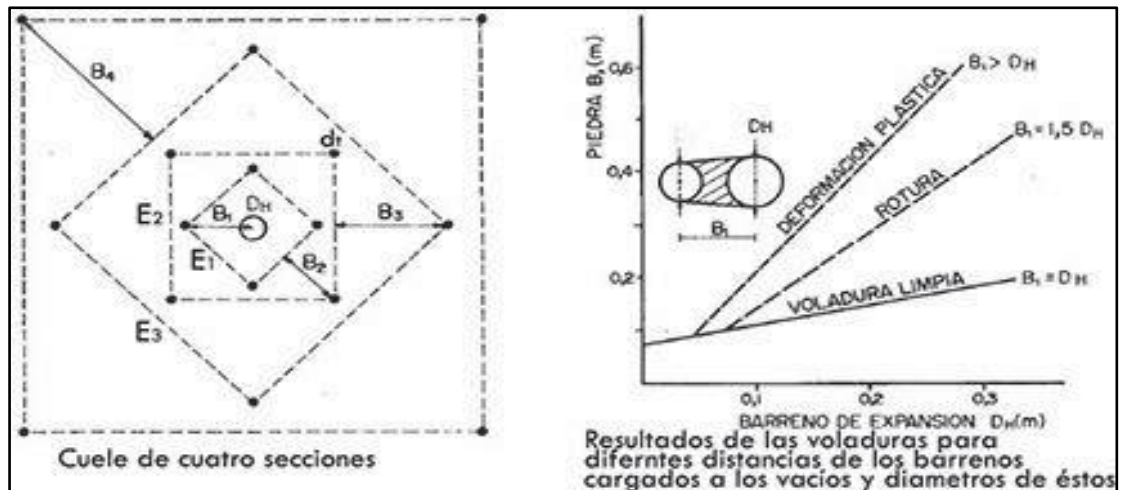
- c. Profundidad de avance (L) (esperada):**

$$L = 0.95H \quad (5)$$

- d. Cálculo de B1 para el cuadro 1:** El primer barrenos se ubica a una distancia B1 del centro de referencia, lo cual está determinado por la organización de los barrenos. Esta distancia B1 hace referencia a la distancia desde el punto preciso de la excavación o corte. Adicionalmente, se emplea la palabra "radio" para referirse a la distancia que va desde el punto preciso del corte hasta cualquier lugar en la periferia de la excavación. (Konya, 2010)

$$B_1 = 1.5D_H \quad (6)$$

Figura 7. Corte en paralelo con cuatro secciones y resultados de las voladuras



Fuente: (Konya, 2010)

El tamaño del corte o la distancia entre los taladros del cuadro se indica con el valor de espaciamiento del corte (EC).

$$Sc1 = B1\sqrt{2} \quad (7)$$

Donde:

$$R1 = B1$$

B1: Burden o piedra (m)

Sc: Espaciamiento entre taladros en el cuadro

e. Cálculos simplificados para cortes cilíndrico.

Tabla 4. Cálculos para cuadrantes

Sección N°	1	2	3	4
B	$1.5D_H$	$B_1\sqrt{2}$	$1.5B_2\sqrt{2}$	$1.5B_3\sqrt{2}$
R	B_1	$1.5B_2$	$1.5B_3$	$1.5B_4$
Sc	$B_1\sqrt{2}$	$1.5B_2\sqrt{2}$	$1.5B_3\sqrt{2}$	$1.5B_4\sqrt{2}$
T	B_1	$0.5B_2$	$0.5B_3$	$0.5B_4$
Revisar	$Sc \geq \sqrt{L}$	$Sc \geq \sqrt{L}$	$Sc \geq \sqrt{L}$	$Sc \geq \sqrt{L}$

Fuente: (Konya, 2010)

f. Taladros auxiliares:

$$B = 0.012 \left(\frac{2\rho_e}{\rho_r} + 1.5 \right) \partial e \quad (8)$$

$$Sc = 1.1B \quad (9)$$

$$T = 0.5B \quad (10)$$

Donde:

B: burden, línea de menos resistencia o piedra (m)

pe: Gravedad específica o densidad del explosivo (g/cm³)

pr: Gravedad específica o densidad de la roca (g/cm³)

de: Diámetro del explosivo (mm).

Sc: espacimientto entre taladros en el mismo cuadro

T: Taco (m)

g. Taladros de piso

$$Sc = 1.1B \quad (11)$$

$$T = 0.2B \quad (12)$$

h. Taladros de contorno (corona)

$$Sc = 1.1B \quad (13)$$

$$T = B \quad (14)$$

4.1.4. Voladura controlada

La voladura contraída se emplea para fracturar rocas de gran tamaño. La implementación de este procedimiento puede realizarse de manera superficial o subterránea. Este procedimiento nos permite reducir las fisuras en el camino de progreso. Es necesario considerar el estudio geológico, pues este establecerá qué tipo de roca se muestra. Esto nos facilitará determinar la cantidad apropiada de explosivo. (Departamento de geología CMH S.A.).

Ventajas

- Genera superficies de rocas suaves y firmes: El precorte permite que antes de realizar la voladura principal se forme una fractura controlada en la roca. Esto lleva a tener superficies rocosas más estables y suaves, lo que facilita la excavación subsiguiente y reduce los problemas de inestabilidad en la roca.
- Reducir la vibración de la voladura y la excavación primordiales: Cuando se crea una fractura anticipada en la roca, el precorte ayuda a disipar de manera controlada la energía explosiva.
- Crea menos grietas en la roca remanente: El precorte orienta la propagación de la fractura hacia una dirección concreta, lo cual contribuye a reducir las grietas no deseadas en la roca remanente.

Desventajas

Costo considerablemente superior al de la voladura tradicional debido a la necesidad de más taladros y el uso de explosivos especiales o acondicionados a medida.

- Aumento en el tiempo de preparación durante la perforación y el cargado.
- En material detrítico competente o deleznable que pueda proporcionar resultados positivos.

4.1.5. Ventilación

Es fundamental la ventilación en la minería subterránea para el correcto funcionamiento de los equipos y la provisión de oxígeno necesaria para el trabajador. En el punto RP940, la ventilación se realiza a través de chimeneas, mientras que en el crucero 1300, la ventilación se realiza de manera mecánica con un ventilador con una capacidad de 60000 CFM de modelo. Para transportar el

aire que entra a través de la ventiladora, se emplean mangas, que se distribuyen en distintos frentes y su funcionamiento es ininterrumpido las 24 horas (Departamento de geología CMH S.A.).

4.1.6. Limpieza y acarreo de desmonte

Luego de llevar a cabo la ventilación después de la expulsión, se limpia utilizando el modelo Scooptram (R1300G). La materia producida a través de la voladura es transportada a la cámara de acumulación RP1925. La carga se realiza mediante volquetes capaces de 15 y 22 Ton. (Departamento de geología CMH S.A.).

4.1.7. Sostenimiento

Para garantizar un trabajo seguro, el mantenimiento en la minería subterránea es esencial. La sustentabilidad ocurre en sitios donde el macizo rocoso resulta inestable. El método de aplicación estará fuertemente influenciado por el macizo rocoso y el método de extracción, puede ser sostenido usando cimbras metálicas, cuadros de madera, que pueden ser rectos, cónicos o cojines, entre otras opciones.

El mantenimiento asegura que las piedras sueltas no estén en lugares que obstruyan el camino, porque tienen el potencial de golpear al trabajador. Y si no se establece un soporte, el macizo rocoso puede deslizarse hasta llegar a perder la labor. Según la geología, el macizo que muestra en la RP1925 varía considerablemente, oscilando entre muy bueno y muy malo, motivo por el cual se utilizan diversos métodos, shotcrete, malla electro soldada y cimbras metálicas. (Cáceres, 2017).

Por ende, la ejecución del proyecto se lleva a cabo conforme a la tabla geomecánica. Lo cual se puede apreciar en el anexo 1 y 2.

Sostenimiento con shotcrete vía húmeda

Esta forma de sustentación se usa para una roca de calidad baja, en la que esta es inestable. Este procedimiento se lleva a cabo con concreto. Primero, el material se elabora en la fábrica de concreto y luego se vierte en los mezcladores para ser trasladado al lugar que ya ha sido acordado con el encargado. El mezclador cuenta con un lanzador que se controla a través de un centro. (Departamento de geología CMH S.A.).

Sostenimiento con pernos swellex

Este procedimiento se usa para obtener estabilidad en los bloques. Se emplea de manera extensa en la empresa en áreas de macizo rocoso que son extremadamente riesgosas. En estos sitios en los que se encuentran las fallas, es común que haya un descenso incesante de rocas. Este procedimiento es costoso, así que solo se coloca en las galerías principales. Los jumbos emperadores Sandvik son los que se utilizan para poner en funcionamiento los pernos swellex. (bolter) (Departamento de geología CMH S.A.).

Formas de evitar la sobrerotura

En el proceso de voladura, la sobrerotura tiene un impacto en el aumento de los costos productivos. Para prevenir esto, se debe considerar lo siguiente: la utilización de cargas explosivas lineales de energía baja, cargas desacopladas y cargas desacopladas, para lograr un control más efectivo sobre el fragmentado, disminuir los riesgos y alcanzar los resultados deseados en términos de eficacia y estabilidad durante la excavación, se utilizan métodos y técnicas como el espacio apropiado entre taladros y la proximidad de estos. (Departamento de geología CMH S.A.).

Se puede determinar la sobrerotura utilizando la siguiente fórmula experimental:

$$Rr = Ar * Av * Fe \quad (15)$$

$$Rt = At * Av * Fe \quad (16)$$

$$Sr\% = \frac{Rr - Rt}{Rt} * 100\% - 100\% \quad (17)$$

Donde:

Sr: Porcentaje de sobrerotura (%)

Rr: Rotura real después de la voladura (m3)

Rt: Rotura teórica de acuerdo al diseño (m3)

Ar: Área de la sección real (m2)

At: Área de la sección teórica de acuerdo al diseño (m²)

Av: Avance efectivo del disparo (m)

Fe: Factor de esponjamiento de la roca

4.1.8. Geomecánica

Cuando se explota una mina, es fundamental investigar la geomecánica de las rocas. Este estudio permite describir el macizo rocoso y, con esta información, es posible evitar sucesos e incidentes. El método de extracción que debería tener la geomecánica es determinado. (Departamento de geología CMH S.A.).

Clasificación geomecánica

Se tuvieron en cuenta los criterios que se habían establecido con anterioridad para la clasificación; Esta simplificación permite distinguir entre las diversas clases de macizo rocoso que están presentes en la unidad minera. La información permitirá determinar el tipo de macizo rocoso que se identificará en cada avance potencial. De acuerdo con la clasificación de Barton y Bieniaswki,

el macizo rocoso de la unidad minera Percoy presenta una mala calidad. (Departamento de geología CMH S.A.).

Clasificación de Bieniawski (CSIR)

Bieniawski, del CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research), diseñó unos sistemas de clasificación más empleados en años recientes por ingenieros geotécnicos, denominado RMR. Este índice funciona como fundamento y orientación para el mapeado, la excavación y la conservación de actividades mineras. (Cáceres, 2017).

Obtención del índice RMR (Rock Mass Rating): este método de clasificación facilita la categorización del macizo rocoso. Es necesario considerar la comprensión uniaxial, RQD, el espaciamiento de las diaclasas y las condiciones de las aguas subterráneas para su aplicación. (Departamento de geología CMH S.A.).

Figura 8. Codificación geomecánica de Bieniawski

Ensayo carga puntual	>10 (15)	10-4 (12)	4-2 (7)	2-1 (4)				7
Compresión simple (MPa)	>250 (15)	250-100 (12)	100-50 (7)	50-25 (4)	25-5 (2)	5-1 (1)	<1 (0)	
RQD		90%-100% (20)	75%-90% (17)	50%-75% (13)	25%-50% (8)	<25% (3)		13
Separación entre diaclasas	Separación entre diaclasas	>2 m (20)	0,6-2m (17)	0,2-0,6m (10)	0,06-0,2m (8)	<0,06m (5)		10
Estado de las discontinuidades	Long. discontinuidad	<1m (8)	1-3m (4)	3-10m (2)	10-20m (1)	>20m (0)		4
	Abertura	Nada (8)	<0,1mm (5)	0,1-1,0mm (3)	1-5mm (1)	>5mm (0)		3
	Rugosidad	Muy rugosa (8)	Rugosa (5)	Ligeramente rugosa (3)	Ondulada (1)	Suave (0)		3
	Relleno	Ninguno (8)	Relleno duro <5mm (4)	Relleno duro >5mm (2)	Relleno blando <5mm (2)	Relleno blando >5 mm (0)		2
	Alteración	Inalterada (8)	Ligeramente alterada (5)	Moderadamente alterada (3)	Muy alterada (1)	Descompuesta (0)		3
Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo (15)	<10 l/min (10)	10-25 l/min (7)	25-125 l/min (4)	>125 l/min (0)		
	Presión agua/tensión principal mayor	0 (15)	0-0,1 (10)	0,1-0,2 (7)	0,2-0,5 (4)	>0,5 (0)		15
	Estado general	Seco (15)	Ligeramente húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua fluyendo (0)		
Corrección orientación discontinuades	Dirección y buzamiento	Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		-2
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-80		
Clasificación	Puntuación	(81-100)	(61-80)	(41-60)	(21-40)	(<20)		58
	Clase	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V		Tipo III
	Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		Media

Fuente: (Mestas, 2016)

Es fundamental tener en cuenta todos los parámetros, como la separación de las diaclasas, el agua, el estado y la orientación de las discontinuidades, RQD y entendimiento sencillo. Cada indicador tiene un valor, y al combinar todos estos valores obtenemos la clasificación del macizo rocoso. En la que la categoría I es excelente, la II es buena, la III tiene un nivel medio, la IV es mala y la V es muy mala. (Konya, 2010). **Ver figura 9**

4.1.9. Mapeo geomecánico

Según los mapeos geomecánicos, la RP 1925 - Mina Rosa Nv.1865 muestra una RMR de entre 31 y 40 (Mala A) y de entre 21 y 30 (Mala B). Como se puede observar en el plano geomecánico Anexo 11, que presenta fracturas subparalelas con desplazamientos opuestos, las cuales son cruzadas por fallas subperpendiculares (potencia de 0.80 m). Las muestras de relleno, en contacto con las fallas, son suaves, tienen planos lisos y están modificadas entre un grado medio a uno alto; Además, presentan un nivel de humedad. Estas circunstancias causan que los bloques de la corona y los hastiales se caerán. Estas circunstancias causan que los bloques de la corona y los hastiales se caerán. (Referente a excavación) (Departamento de Geología de CMH SA)

Figura 9. Valores y parámetros de clasificación

PARÁMETROS			ESCALA DE VALORES					
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	>10 MPa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 MPa	Para valores bajos es preferible la resistencia a compresión simple	
		A compresión simple (uniaxial)	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 Mpa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa <1 MPa
	VALOR		15	12	7	4	2	1 0
2	R.Q.D		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%	
	VALOR		20	17	13	8	3	
3	ESPACIADO DE LAS JUNTAS		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm	
	VALOR		20	15	10	8	5	
4	CONDICIONES DE LAS JUNTAS		Muy rugosas, sin continuidad, cerradas, roca labios sana.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios ligeramente meteorizada.	Ligeramente rugosa separación <1 mm, roca labios muy meteorizada.	Espejo o falla o relleno de espesor <5 mm, o juntas abiertas 1-5 mm, juntas continuas.	Relleno blando de espesor >5 mm, o juntas abiertas >5 mm, juntas continuas.	
	VALOR		30	25	20	10	0	
5	AGUA	Flujo en cada 10 m. de túnel, (l/min)	Ninguno	<10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min	
		Relación presión del agua en las juntas/tensión principal máxima.	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5	
		CONDICIONES GENERALES	Completamente seco	Manchas de humedad	Muy húmedo	Goteo	Flujo de agua	
		VALOR	15	10	7	4	0	

Fuente: (Mestas, 2016)

4.1.10. Precios unitarios de Consorcio Minero Horizonte S.A.

Para el consorcio minero Horizonte, es fundamental conocer el precio unitario de cada uno de sus productos o servicios. La información de los precios se especificará en las tablas 4, 5, 6 y 7. 8 y 9

Tabla 5. Costo de mano de obra

categoria	Ud.	Jornal (s/.)	Jornal (\$)	Leyes sociales 66.85%	C. U. \$/jornal
Jefe de guardia	S/. / Jornal	250	77.23	51.63	128.86
Capataz	S/. / Jornal	115	35.53	23.75	59.28
Maestro de operaciones	S/. / Jornal	68	21.01	14.04	35.05
Ayudante de operaciones	S/. / Jornal	63	19.46	13.01	32.47
Operador jumbo	S/. / Jornal	101	31.20	20.86	52.06

Fuente: Departamento de Perforación y voladura

Tabla 6. Costo de equipos

equipos	und	Costo total US\$/Hr	Consumo combustible	Unidad consumo
Jumbo electrohidráulico	\$/hr	138	1.5	gal/hr
Scoop diésel 4.1Yd3	\$/hr	118	6.5	gal/hr
Jumbo empernador (bolter)	\$/hr	119	1.5	gal/hr
Camión hormigonero (Mixer)	\$/hr	60	2.8	gal/hr
Lanzador de concreto (Robot)	\$/hr	102	2	gal/hr

Fuente: Departamento de Perforación y voladura

Tabla 7. Costo de aceros de perforación

Descripción	Unidad	Precio \$	Vida útil	Ud vida útil
Barra MF T38xH35xR32x14 FTS	\$/pza	513.94	2500	m
Barra MF T38xH35xR32x12 FTS	\$/pza	536.11	2500	m
Barra R32-H28-R28x8' (bolter)	\$/pza	273.05	2500	m
Shank adapter HLx5xT38, 7304-7585	\$/pza	254.3	3500	m
Shank adapter hembra (bolter)	\$/pza	302.66	3500	m
Broca B R32x45MM	\$/pza	83.12	200	m
Broca B R28 X	\$/pza	72.09	200	m
Broca rimadora R32x102MM, S45	\$/pza	221.92	200	m
Adaptador de rimadora PIL R32	\$/pza	133.17	200	m

Fuente: (Departamento de perforación y voladura CMH S.A.)

Tabla 8. Costo de herramientas y materiales

descripción	unidad	Precio \$	Vida útil	Ud útil
Combustible (Petróleo)	\$/gal	3.13		
Aceite almo	\$/gal	8.51		
Cadena de eslavón 3/16	\$/m	1.09		
Tubería de polietileno de 2"	\$/pza	2.37		
Tubo pvc (voladura precorte)	\$/pza	1.88		
Tubo pvc (tubo de arrastre)	\$/pza	1.28		
Cinta masking tape 3/4"	\$/ud	1.48		
Cinta aislante scotch 3/4" 3M	\$/ud	6.33		
Manguera de jebe	U.S.\$/Mts	3.25	100	disp
Pintura esmalte color rojo	\$/pza	6.46		
Brocha tumi de 3"	\$/pza	4.63	10	disp
Escalera telescópica	\$/ud	13.21	150	disp
Guiadores	\$/pza	1.54	150	disp
Lampa tipo cuchara	\$/pza	5.79	50	disp
Pico minero	\$/pza	7.56	50	disp
Comba de 6 Lbs	\$/pza	7.92	150	disp
Llave Stilson de 12"	\$/pza	11.49	150	disp
Llave Francesa de 8"	\$/pza	5.83	150	disp
Barretilla de 6'	\$/pza	17.42	30	disp
Barretilla de 8'	\$/pza	17.50	30	disp
Barretilla de 10'	\$/pza	20.39	30	disp
Barretilla de 12'	\$/pza	24.89	30	disp
Barretilla de 14'	\$/pza	28.63	30	disp
Cucharilla	\$/pza	2.58	30	disp
Tacos de arcilla	\$/pza	0.50		
Atacador	\$/pza	1.50	20	disp
Llave stillson de 14"	\$/pza	33.54		

Manga de ventilación	\$/m	1.29		
Alcayata 3/4	\$/pza		2.57	
Grapas y accesorios	General		3.67	
Cizalla para fe tipo tijera 1/2"	ud		51.63	
Llave francesa de 14"	ud		16.03	
Perno de anclaje expansivo swellex	\$/pza		9.56	
Malla electrosoldada de 4"x4"	\$/m2		2.32	
Calibrador biselado 45° D/madera	\$/pza		0.10	
Acelerante (L-30 cilindro xl246.50kg)	\$/kg		0.86	
Shotcrete vía húmeda (mezcla)	\$/m3		310	
Cartucho de cemento cembol	\$/ud		0.19	

Fuente: (Departamento de perforación y voladura CMH S.A.)

Tabla 9. Costo de explosivos y accesorios

Descripción	Unidad	Precio \$
Pentacord o cordón detonante	\$/m	0.27
Igneter cord	\$/m	1.31
Guía ensamblada 2.4 mts	\$/pza	0.86
Exsanel 4.20 mts N 180 (200)	\$/pza	1.25
Exsanel 4.80 mts N 180 (200)	\$/pza	1.61
Exsablock 1-1/8"x8" (160) cart	\$/cart	0.29
Exsablock 7/8"x7" (160) cart	\$/cart	0.20
Semexa 65 1-1/8"x12" (122) cart	\$/cart	0.59

Tabla 10. Costo de Equipo de Protección Personal (EPPs)

Descripción	Unidad	Precio \$	Vida útil	Und vida útil
Bota de jebe punta de acero	\$/pza	18.02	180	disp
Chaleco amarillo limón de malla c/cinta reflectiva	\$/pza	5.41	60	disp
Short amarillo limón con cinta reflectiva	\$/pza	4.83	60	disp
Casco jockey con portalámpara azul	\$/pza	9.05	365	disp
Barbiquejo	\$/pza	0.60	60	disp
Respirador	\$/pza	18.12	180	disp
Filtro	\$/pza	3.36	7	disp
Cartucho	\$/pza	4.35	30	disp
Retenedor	\$/pza	2.31	180	disp
Guantes de Cuero	\$/pza	3.04	7	disp
Guantes de Neopreno	\$/pza	7.14	7	disp
Correa Portalámpara	\$/pza	3.33	365	disp
Tapón de oído	\$/pza	0.33	30	disp
Protector auricular (orejeras)	\$/pza	8.80	365	disp
Camisa + pantalón	\$/pza	30.43	180	disp
Lámpara minera	\$/pza	78.98	365	disp
Anteojo	\$/pza	4.08	120	disp
Tafílete	\$/pza	3.24	365	disp

Fuente: (Departamento de perforación y voladura CMH S.A.)

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados,

Información de la RP 1925 con la malla anterior

4.2.1. Sobrerotura

Se mide la sobrerotura de 10 disparos en la RP1925 para luego afectar el cálculo del porcentaje de sobrerotura. Asimismo, se observa el progreso de cada disparo tal como se muestra.

Tabla 11. *Porcentaje de sobrerotura en la RP1925*

N.º disparo	Ancho (m)	Altura (m)	Ancho real (m)	Altura real (m)	Avance real (m)	Rotura real (m3)	Rotura diseño (m3)	Sobrerotura %
1	3.50	3.50	3.75	3.80	2.84	38.02	32.69	16.33%
2	3.50	3.50	3.68	3.86	2.78	37.10	32.00	15.96%
3	3.50	3.50	3.65	3.80	2.86	37.27	32.92	13.22%
4	3.50	3.50	3.60	3.98	2.86	38.50	32.92	16.96%
5	3.50	3.50	3.64	3.84	2.84	37.30	32.69	14.10%
6	3.50	3.50	3.75	3.78	2.98	39.69	34.30	15.71%
7	3.50	3.50	3.72	3.80	3.02	40.11	34.76	15.40%
8	3.50	3.50	3.71	3.76	2.78	36.44	32.00	13.87%
9	3.50	3.50	3.68	3.81	2.89	38.07	33.26	14.46%
10	3.50	3.50	3.86	3.76	2.84	38.73	32.69	18.48%
Promedio			3.70	3.82	2.87	38.12	33.02	15.45%
Total (avance y rotura)					28.69mts	381.24	330.22	15.45%

Fuente: (Departamento de perforación y voladura CMH S.A.)

Para calcular la sobrerotura, consideramos la sección proyectada del trabajo (3.50mx3.50m), la sección real tras la voladura (3.86mx3.76m) y el 2.84 de progreso efectivo en el número de disparo N° 10 de la tabla 10, y determinamos la rotura real, teórica y el porcentaje de sobrerotura en las ecuaciones 15, 16 y 17.

$$Rr = Ar * Av * Fe$$

$$Rr = 3.86m * 3.76m * 2.84m * 0.93 * 1.0103 = 38.73m^3$$

$$Rt = At * Av * Fe$$

$$Rt = 3.50m * 3.50m * 2.84m * 0.93 * 1.0103 = 32.69m^3$$

$$Sr\% = \frac{Rr - Rt}{Rt} * 100\% - 100\%$$

$$Sr\% = (38.73 - 32.69)/32.69 * 100\% - 100\% = 18.48\%$$

4.2.2. Perforación

Malla de Perforación

La Finalidad de una malla perforada es distribuir los orificios. En este caso, la información del macizo rocoso se demostró, el cual pertenece a los RMR 31 y 40. En la actualidad, el diseño se lleva a cabo de manera convencional porque no existe una malla predefinida.

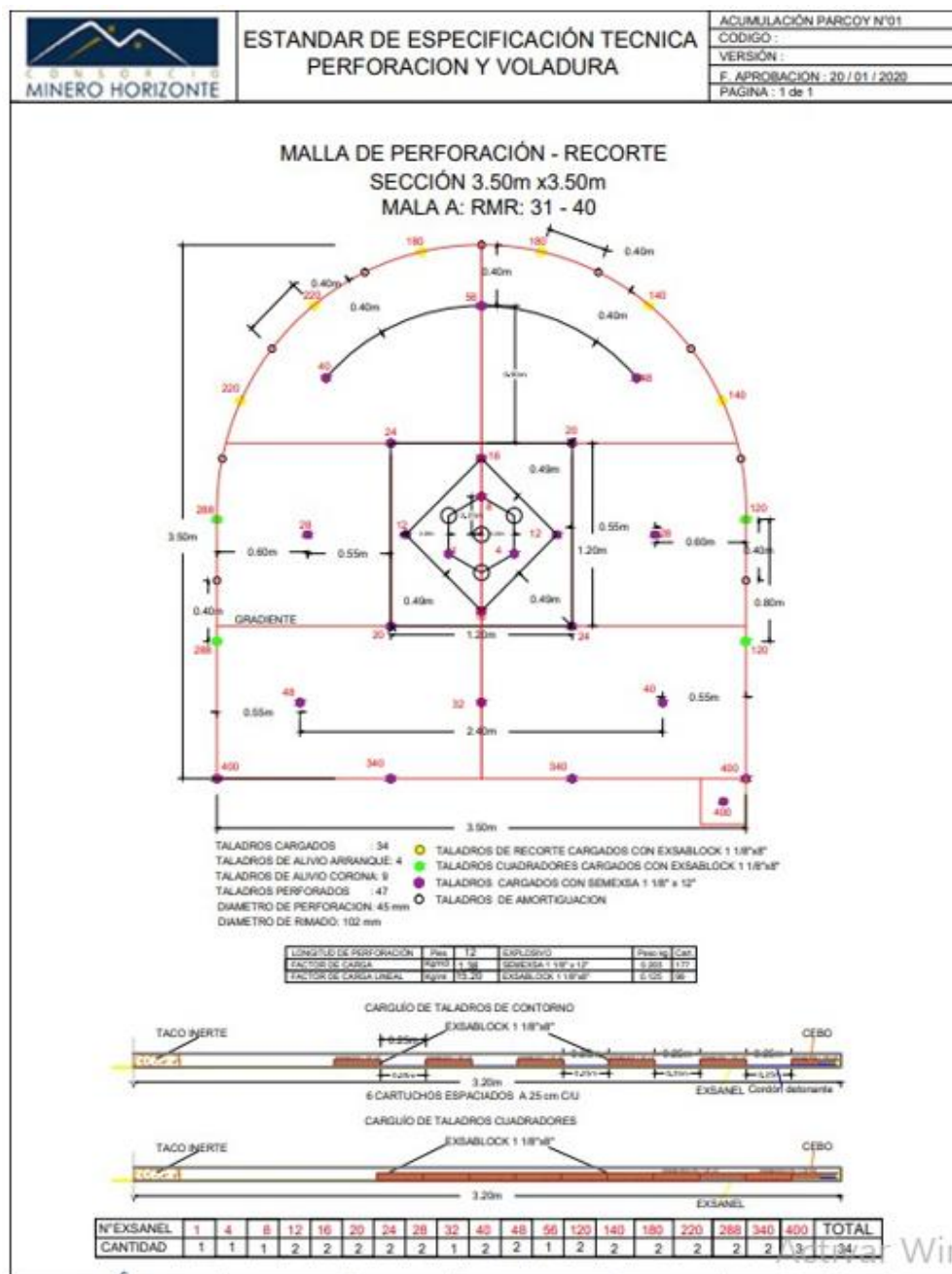
Información sobre el diseño de la malla perforadora y de voladura

- Ancho de labor: 3.50metros.
- Altura de labor: 3.50 metros.

Tipo de roca: Granodiorita (2.7tn/m)

- RMR: 31 – 40
- Maquinaria de perforación: Jumbo.
- Tipo de corte: Corte cilíndrico o quemado.
- Distancia de la barra: 12pies, eficiencia de perforación 90%
- Perforación efectiva: $12 * 0.305 * 0.9 = 3.29$ metros.
- Taladros perforados: 47 taladros.
- Taladros rimados: 4 taladros

Figura 10. Malla estándar de perforación y voladura



Fuente: (Departamento de perforación y voladura CMH S.A.)

En la **Figura 10** Se observe claramente una malla de perforación de recorte con dimensiones de 3.50 x 3.50 metros. La categoría de macizo rocoso fue tomada en cuenta, la que me proporcionó la zona de geomecánica del Consorcio Minero Horizonte SA La Tabla 11 presenta el cálculo de eficiencia de perforación con jumbo, según se detalla en el anexo 3.

Tabla 12. *Eficiencia de perforación con jumbo electrohidráulico*

descripción	unidad	Tipo de roca MALA – A
Cantidad de taladros perforados	ud	47
Cantidad de taladros rimados	ud	4
Longitud de perforación	m	3.29
Longitud total perforado por disparo	m	154.63
Tiempo promedio de perforación por taladro	min	2.18
Velocidad promedio de perforación por taladros	m/min	1.51
Tiempo promedio de emboquillado por taladro	min	0.42
Tiempo promedio de cambio de taladro a taladro	min	0.1
Tiempo promedio de demoras por taladro	min	0.23
Tiempo neto de perforación del frente	min	102.46
Tiempo total de emboquillado de taladro	min	19.74
Tiempo total de cambio de taladro a taladro	min	4.7
Tiempo total de demoras	min	10.81
Tiempo total de perforación	min	137.71
Tiempo total instalación, y otros	min	5
tiempo total de perforación del frente	min	142.71
	hrs	2.38
rendimiento del jumbo electrohidráulico	m/hr	65.01

4.2.3. Voladura

Requerimiento de explosivo

Es fundamental implementar de control y supervisión rigurosas en la elaboración de los vales de explosivos, para asegurar que se realicen con precisión y de acuerdo a las exigencias de cada frente de carga. Esto conlleva la implementación de protocolos definidos, la formación del personal implicado y

la realización de un seguimiento constante para rectificar cualquier incoherencia o fallo que ocurra. El número de explosivos

El frente de carga requerido en el polvorín para un frente de carga variable se debe a la falta de control al producir los vales de explosivo por los bodegueros. Se realizó la recolección de múltiples vales de explosivos del RP1925, y se adquirió la muestra que se presenta en la figura 10 para la malla de perforación.

Tabla 13. *Cantidad de explosivo para el frente*

Sección	N.º tal.	Longitud de carga (m)	Cartuchos/taladro		Total, cartuchos/taladro	
			Semexa 65 1-1/8"x12"	Exsablock 1-1/8"x8"	Semexa 65 1-1/8"x12"	Exsablock 1-1/8"x8"
Arranque	3	2.9	11		33	
Ay. arranque	4	2.7	10		40	
Ay. de cuadrador	4	2	8		32	
Ay. de corona	3	2	8		24	
Ay. de arrastre	3	2.5	9		27	
Cuadradores	4	1.7	4	5	16	20
Arrastre	4	2.5	9		36	
Cuneta	1	1.4	5		5	
Contorno	6		1	5	6	30
Alivios arranque	4				0	
Alivios contorno	9				0	
Total perforados	47	Peso por cartucho			0.205	0.125
Total cargados	34	Kilos de explosivo			49.815	6.25
Total semexa y exsablock pedido en el polvorín (cartuchos)					243	50

Rendimiento del explosivo

El peso del explosivo, que se encuentra en la Tabla 12, sirve de referencia para calcular la sumisión del explosivo; por su parte, los diferentes del explosivo cargado en el frente se dan a conocer en la Tabla 13.

Tabla 14. *Rendimiento del explosivo*

Descripción	Unidad	Total
Peso de explosivo	kg	56.07
Longitud del taladro	m	3.29
Volumen total	m ³	37.48
Tonelaje total	tn	101.20
Factor de carga	kg/m ³	1.55
Factor de potencia	kg/tn	0.55
Factor de carga lineal	kg/m	17.04

4.2.4. Costos

Costos de perforación

Los costos operativos se basan en gran medida en la cantidad de mineral que la planta de beneficios necesite. Según este se llevará a cabo la proyección de herramientas, equipos y trabajadores. Los precios del jumbo en la perforación se pueden visualizar en la **tabla 14**.

Tabla 15. *Costos de Perforación*

Descripción	Unidad	Total
Tiempo total de perforación del frente	hrs	2.38
Costo horario del jumbo electrohidráulico	\$/hr	138.00
Combustible (petróleo)	\$	11.17
Costo del jumbo por disparo	\$	339.61
Costo de perforación por metro lineal	\$/m	119.58

La Tabla 15 presenta el costo de aceros de perforación, junto con las herramientas y materiales empleados en la perforación del frente, mientras que la Tabla 6 presenta los costos por unidad de aceros de perforación, y la Tabla 7 presenta los costos por unidad de materiales y herramientas.

Tabla 16. Costo de herramientas y materiales de perforación

Descripción	Consumo por guardia	ud de consumo	vida útil	ud vida útil	Precio (\$)	Costo total (\$)
Aceros de perforación						
Barreno	154.63	m	2500	m	536.11	33.16
Shank adapter	154.63	m	3500	m	254.3	11.23
Broca B R32x45MM	154.63	m	200	m	83.12	64.26
Broca rimadora R32x102MM	13.61	m	200	m	221.92	15.10
Adaptador de rimadora	13.61	m	200	m	133.17	9.06
Herramientas y materiales						
Aceite almo	0.18	gal	1	gal	8.51	1.53
tubo de arrastre	10	Und	1	disp	1.28	12.80
Pintura esmalte color rojo	0.2	Galones	1	gal	6.46	1.29
Brochas tumi de 3"	1	ud	10	disp	4.63	0.46
Guiadores 1.5m	3	ud	150	disp	1.54	0.03
lampa tipo cuchara	1	ud	50	disp	5.79	0.12
Pico	1	ud	50	disp	7.56	0.15
Comba de 6 lbs	1	ud	150	disp	7.92	0.05
Llave Stillson de 12"	1	ud	150	disp	11.49	0.08
Llave Francesa de 8"	1	ud	150	disp	5.83	0.04
Barretilla de 6'	2	ud	30	disp	17.42	1.16
Barretilla de 8	2	ud	30	disp	17.5	1.17
Barretilla de 10'	2	ud	30	disp	20.39	1.36
Barretilla de 12'	2	ud	30	disp	24.89	1.66
Cucharilla	2	ud	30	disp	2.58	0.17
Manguera de jebe	50	m	100	disp	3.25	1.63
Tacos de arcilla	35	ud	1	disp	0.5	17.50
Tubo (voladura precorte)	5	ud	1	disp	1.88	9.40
Cinta masking tape 3/4"x25m	1	ud	1	disp	1.48	1.48
Atacador	2	ud	20	disp	1.5	0.15
Escalera telescópica 3 m.	1	ud	150	disp	13.21	0.09
Costo herramientas y materiales por disparo (\$/)						187.05
Costo herramientas y materiales por metro lineal (\$/m)						65.86

Costos de voladura

Para calcular los gastos de voladura, se considerará el tipo de explosivo empleado en cada frente y también se considerará la compañía que los compra.

Los precios se representan en la **tabla 16**

Tabla 17. Costo de voladura por disparos del frente

Descripción	Consumo por disparo	Unidad consumo	Precio (\$)	Costo total (\$)
Semexa 65 1-1/8"x12"	243	ud	0.59	143.37
Exsablock 1-1/8"x8"	50	ud	0.29	14.50
Exsanel 4.20m N 180	34	ud	1.25	42.50
Guía ensamblada 2.4m-carmex	2	ud	0.86	1.72
Igneter cord	0,1	m	0.31	0.03
Cordón detonante (pentacord)	41	m	0.27	11.07
Costo total por disparo (\$/disp.)				213.19
Costo voladura por metro lineal (\$/m)				75.07

Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se determina según la jornada laboral y considerando el tiempo del ciclo de minado en el punto RP1925. La cantidad se expresa en dólares por cada metro de progreso. La La tabla 4 muestra las horas de perforación, mientras que el costo se puede observar en la tabla 17.

Tabla 18. Costo total de mano de obra

Operaciones	Descripción	Horas por labor	Und	Incidencia (%)	Costo (\$)	Total (\$)
Perforación	Operador de jumbo	2.38	h/h	20.70	52.06	10.77
Voladura	Maestro de operaciones	11.5	h/h	100.00	35.05	35.05
	Ayudante de operaciones	11.5	h/h	100.00	32.47	32.47
Servicios	Bodeguero	0.42	h/h	3.65	32.47	1.19
Supervisión	Jefe de guardia	0.5	h/h	4.35	128.86	5.60
	Capataz/Supervisor	1	h/h	8.70	59.28	5.15
Costo total de mano de obra por disparo (\$)						90.24
Costo total de mano de obra por disparo (\$/m)						31.77

Costo de seguridad

Para calcular el costo de seguridad, se consideran los Epps, la cantidad de empleados y el tiempo de vida lucrativo. Es necesario disponer de equipos adicionales si no alcanza su duración.

Tabla 19. Costo de Equipos de Protección Personal (EPPs)

Descripción	ud	Hrs por gdia.	Vida Util	Und Vida Util	Precio %	Costo Total \$
Botas minero	Par	12	180	disp	18.02	1.20
Chaleco de malla	ud	12	60	disp	5.41	1.08
Short	ud	12	60	disp	4.83	0.97
Casco con portalámpara azul	ud	12	365	disp	9.05	0.30
Barbiquejo	ud	12	60	disp	0.6	0.12
Respirador 3M	ud	12	180	disp	18.12	1.21
Filtro 3M	Par	12	7	disp	3.36	5.76
Cartucho 3M	Par	12	30	disp	4.35	1.74
Retenedor	Par	12	180	disp	2.31	0.15
Guantes de Cuero	Par	5	7	disp	3.04	2.17
Guantes hyplex	Par	7	7	disp	7.14	7.14
Correa Portalámpara	ud	12	365	disp	3.33	0.11
Tapón de oído	par	5	30	disp	0.33	0.06
Protector auricular (orejeras)	par	7	365	disp	8.8	0.17
Camisaco y pantalón	ud	12	180	disp	30.43	2.03
Lámpara	ud	12	365	disp	78.98	2.60
lentes	ud	12	120	disp	4.08	0.41
Tafilete	ud	12	365	disp	3.24	0.11
Costo total de implementos de seguridad por disparo (\$)						27.31
Costo de implementos de seguridad por metro lineal (\$/m)						9.62

Tabla 20. *Resumen de costo de operaciones*

Operaciones unitarias	Descripción		Total
	Costo del jumbo electrohidráulico	339.61	\$/disparo
Perforación	Costo de herramientas y materiales	187.05	\$/disparo
	Costo total de perforación	526.66	\$/disparo
	Costo de voladura	213.19	\$/disparo
Voladura			
	Costo total de voladura	213.19	\$/disparo
	Costos de mano de obra	90.24	\$/disparo
mano de obra			
	Costo total de mano de obra	90.24	\$/disparo
	Costos de implementos de seguridad	27.31	\$/disparo
Seguridad			
	Costo total de seguridad	27.31	\$/disparo
COSTO TOTAL POR DISPARO		857.40	\$/disparo

Tabla 21. *Resumen de costo de operaciones por metro lineal con la malla*

operaciones unitarias	descripción	total	
perforación	Avance real	2.84	m
	Costo del jumbo	119.58	\$/m
	Costo de herramientas y materiales	65.58	\$/m
	Costo total de perforación	185.16	\$/m
	Avance real	2.84	m
voladura	Costo de voladura	75.07	\$/m
	Costo total de voladura	75.07	\$/m
	Avance real	2.84	m
mano de obra	Costos de mano de obra	31.77	\$/m
	Costo total de mano de obra	31.77	\$/m
	Avance real	2.84	m
seguridad	Costos de EPPs	9.62	\$/m
	Costo total de seguridad	9.62	\$/m
COSTO TOTAL POR METRO DE AVANCE		301.90/metro	

4.2.5. Diseño de la malla de perforación

La malla de perforación se proyecta a través del modelo matemático de Calvin J. Konya. Este enfoque matemático nos permitirá establecer la clasificación del macizo rocoso, para luego definir la malla de perforación correcta, evitando problemas posteriores como sobreroturas o fragmentación deficiente.

4.2.6. Cálculos para las dimensiones del corte en paralelo

Diámetro equivalente (DH)

Con el fin de conseguir un avance proyectado del 95% en la profundidad de los taladros de 12 pies, se considera el uso de cuatro taladros de Alivio con un diámetro de 102 mm. Utilizando la ecuación 3, calculamos el diámetro equivalente.

$$D_H = D_h \sqrt{N}$$

$$D_H = 102 \sqrt{4} = 204 \text{ mm}$$

Profundidad del taladro (H)

La ecuación 4 nos permite calcular que el diámetro del taladro en vacío tiene una relación directa con la profundidad de los taladros que pueden fracturarse hasta un 95% o más.

$$H = \frac{D_H + 16.51}{41.67}$$

$$H = \frac{204 + 16.51}{41.67} = \frac{220.51}{41.67} = 5.29 \text{ mts}$$

Profundidad de avance esperada (L)

Calculamos el avance esperado en la ecuación 5

$$L = 0.95H$$

$$L = 0.95 * 5.29 = 5.03m$$

Número de Taladros por frente

Según la evaluación geomecánica del macizo de roca, se concluye que su dureza es blanda o suave. Según la Tabla 9, se obtiene:

$$S: 0.60m - 0.65m = 0.625m.$$

$$c: 1.50m.$$

Hemos establecido la cantidad de taladros en las ecuaciones 1 y 2.

$$A = 3.50 * 3.50 * 0.93 = 11.39m^2$$

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

$$P = 4 * \sqrt{11.39} = 13.50m$$

$$N^{\circ} \text{ tal} = 16.47 / 0.625 + 1 * 11.39 = 32.1 \text{ tal/disp} = 32 \text{ tal/disp}$$

Por lo tanto, se concluye que cada disparo puede disparar únicamente 32 taladros. Si se cuenta con macizo rocoso V o IV, se puede reducir la cantidad de taladros. Es necesario considerar la experiencia y el pensamiento.

Cálculo de burden por secciones

Según la tabla 10, se determinan los burden para las cuatro secciones, según se aprecia en la figura 11. Luego, se procede a crear el diseño más actualizado de la malla de perforación en cuanto al rango de resultados obtenidos para el arranque, las ayudas de arranque, las ayudas de cuadradores, las ayudas de corona, las ayudas de arrastre, los cuadrados o hastiales, la corona y el arrastre o piso.

a. Burden para la sección primera

$$B_1 = 1.5D_H$$

$$B_1 = 1.5 * 204 = 265.5mm = 0.31m$$

b. Burden para la sección segunda

$$B_2 = B_1\sqrt{2}$$

$$B_2 = 0.31 * \sqrt{2} = 0.43m$$

c. Burden para la sección tercera

$$B_3 = 1.5B_2\sqrt{2}$$

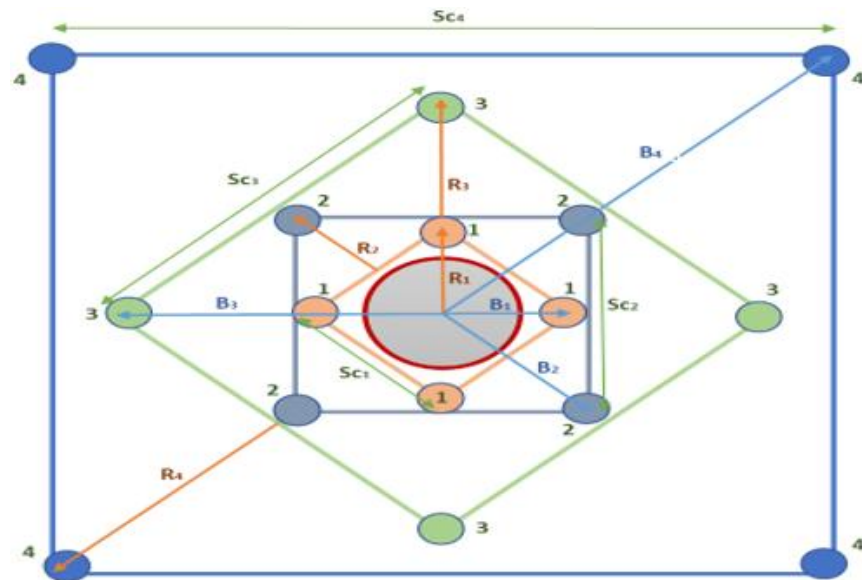
$$B_3 = 1.5 * 0.44 * \sqrt{2} = 0.92m$$

d. Burden para la sección cuarta

$$B_4 = 1.5B_3\sqrt{2}$$

$$B_4 = 1.5 * 0.93 * \sqrt{2} = 1.95m$$

Figura 11. Dimensiones del burden para las 4 secciones



Fuente: (Konya, 2010)

Cálculo de radios por secciones

De acuerdo con la tabla 3, se establecen las distancias o radios a partir del punto exacto de corte, como se observa en la figura 11 para cada una de las cuatro secciones.

a. Radio para la primera sección

$$R_1 = B_1 = 0.31m$$

b. Radio para la segunda sección

$$R_2 = 1.5B_2$$

$$R_2 = 1.5 * 0.44 = 0.65m$$

c. Radio para la tercera sección

$$R_3 = 1.5B_3$$

$$R_3 = 1.5 * 0.93 = 1.38m$$

d. Radio para la cuarta sección

$$R_4 = 1.5B_4$$

$$R_4 = 1.5 * 1.97 = 2.92m$$

Cálculo de espaciamiento entre taladros por secciones

Según la Tabla 3, se determinan los espacios entre los taladros en la sección de corte, tal como se muestra en la figura 11 para las 4 secciones.

a. Espaciamiento entre taladros para la sección primera

$$Sc1 = B_1\sqrt{2}$$

$$Sc1 = 0.31 * \sqrt{2} = 0.43m$$

b. Espaciamiento entre taladros para la sección segunda

$$Sc2 = 1.5B_2\sqrt{2}$$

$$Sc2 = 1.5 * 0.44 * \sqrt{2} = 0.92m$$

c. Espaciamiento entre taladros para la sección tercera

$$Sc3 = 1.5B3\sqrt{2}$$

$$Sc3 = 1.5 * 0.93 * \sqrt{2} = 1.95m$$

d. Espaciamiento entre taladros para la sección cuarta:

$$Sc4 = 1.5B4\sqrt{2}$$

$$Sc4 = 1.5 * 1.97 * \sqrt{2} = 4.13m$$

Cálculo de Tacos por secciones

Según la Tabla 3, se determina el taco para cada sección del corte en las cuatro secciones.

a. Taco para la sección primera:

$$T1 = B1$$

$$T1 = 0.31m$$

b. Taco para la sección segunda:

$$T2 = 0.5B2$$

$$T2 = 0.5 * 0.44 = 0.22m$$

c. Taco para la sección tercera:

$$T3 = 0.5B3$$

$$T3 = 0.5 * 0.93 = 0.46m$$

d. Taco para la sección cuarta:

$$T4 = 0.5B4$$

$$T4 = 0.5 * 1.97 = 97m$$

Burden, espaciamento y taco para taladros auxiliares

Para determinar el burden y espaciamento de los taladros auxiliares o auxiliares, es necesario conocer las propiedades de los explosivos a emplear. Las

características de los explosivos empleados en la voladura se presentan en la Figura 4 y la Figura 5.

Según la figura 4, se cuenta con la información del explosivo semexsa.

- Densidad del explosivo semexsa 65: 1.12gr/cm³
- Densidad de la roca: 2.7gr/cm³
- Diámetro del explosivo: 1-1/8pulg = 28.6mm

Calculamos el burden, espaciamiento y taco en la ecuación 8, 9 y 10, respectivamente.

$$B = 0.012 \left(\frac{2\rho_e}{\rho_r} + 1.5 \right) d_e$$

$$B = 0.012 \left(\frac{2 * 1.12}{2.7} + 1.5 \right) * 28.6 = \mathbf{1.07m}$$

$$Sc = 1.1B$$

$$Sc = 1.1 * 1.07 = 1.17m \text{ (cuadradores)}$$

$$T = 0.5B$$

$$T = 0.5 * 1.07 = 0.53m$$

Burden, espaciamiento y taco para taladros de piso o arrastre

Según la Figura 4, se poseen los detalles del explosivo semexsa.

- Densidad del explosivo semexsa 65: 1.12gr/cm³
- Densidad de la roca: 2.7gr/cm³
- Diámetro del explosivo: 1-1/8pulg = 28.6mm

Calculamos el burden, espaciamento y taco en la ecuación 8, 11 y 12, respectivamente.

$$B = 0.012 \left(\frac{2 * 0.90}{2.7} + 1.5 \right) * 28.6 = 0.96m$$

$$Sc = 1.1B$$

$$Sc = 1.1 * 0.96 = 1.05m \text{ (cuadrados o corona)}$$

$$T = B \mid$$

$$T = 0.96 = 0.96 m$$

Cálculo de burden y taladros de precorte

a. Cálculo del burden para taladros de precorte corona

$$\frac{B}{S} = 1.5$$

S: Para lograr un control más efectivo de la corona, estimamos un distanciamiento de 0,30 metros.

$$B = 1.5 * 30 = 45cm = 0.45m.$$

b. Cálculo de número de taladros de precorte corona

Los taladros de precorte se realizarán en toda la circunferencia de la corona, manteniendo una separación entre ellos.

$$N^{\circ} \text{tal. precorte} = \frac{\text{perímetro de sección} - (\text{ancho de labor} + 2 * \text{gradiente})}{\text{espaciamento de taladro a taladro}} + 1$$

$$N^{\circ} \text{tal. precorte} = \frac{13.5 - (3.50 + 2 * 1.15)}{0.30} + 1$$

$$N^{\circ} \text{ de tal Prec.} = 26.67 = 27 \text{ taladros}$$

Tabla 22. Dimensiones para el diseño de malla de perforación

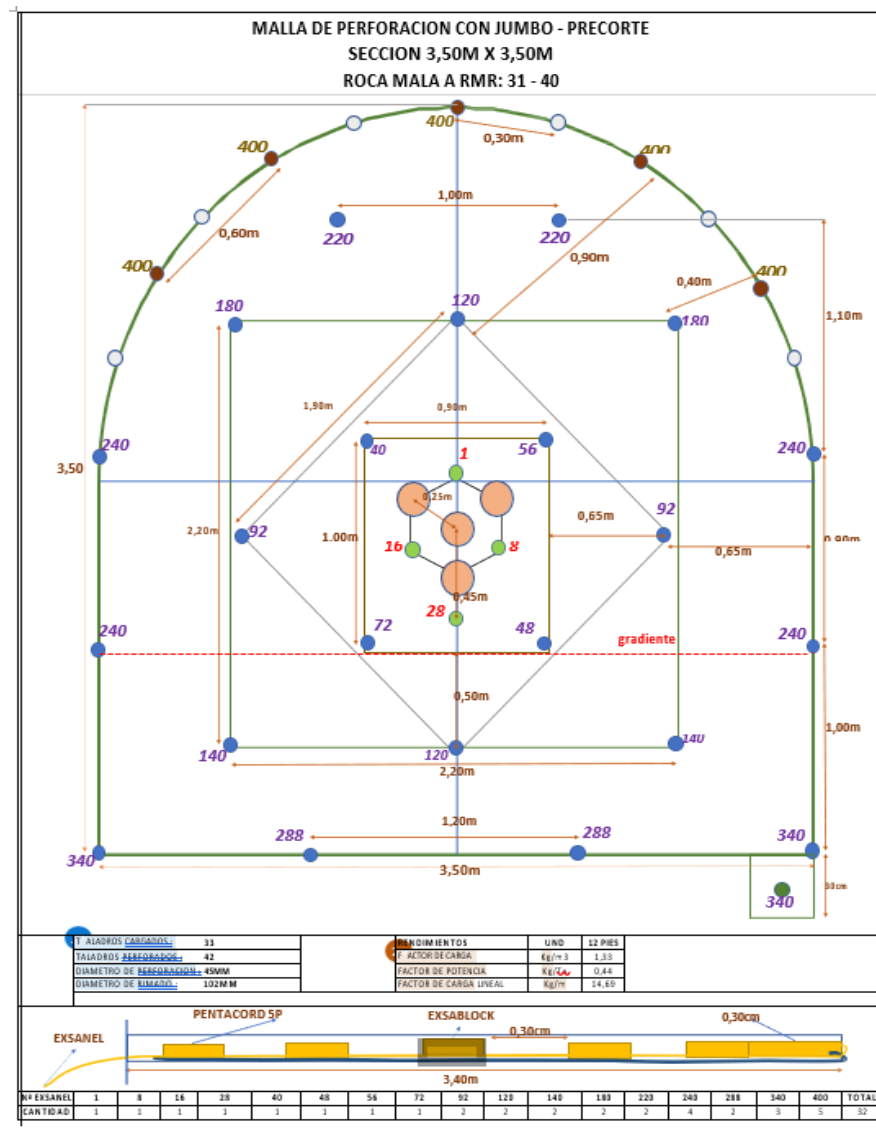
Descripción	Símbolo	Valor	Unidad
Cantidad de taladros de alivio		4	ud
Diámetro de taladro de alivio	Dh	102	mm
Diámetro equivalente (alivio)	DH	204	mm
Longitud del taladro	H	5.29	m
Profundidad de avance esperada	L	5.03	m
Número de taladros producción	Nº tal	32	m
Cantidad de taladros precorte	Nº tal	27	m
Cantidad total de taladros perforados	Nº tal	59	m

	Burden	B	m	m
	Radio	R	0.31	m
Primera sección	Espaciamiento	Sc	0.43	m
	Taco	T	0.31	m
	Burden	B	0.43	m
	Radio	R	0.65	m
Segunda sección	Espaciamiento	Sc	0.92	m
	Taco	T	0.22	m
	Burden	B	0.92	m
	Radio	R	1.38	m
Tercera sección	Espaciamiento	Sc	1.95	m
	Taco	T	0.46	m
	Burden	B	1.95	m
	Radio	R	2.92	m
Cuarta sección	Espaciamiento	Sc	4.13	m
	Taco	T	0.97	m
	Burden	B	1.07	m
Taladros auxiliares y/o cuadradores	Espaciamiento	Sc	1.17	m
	Taco	T	0.53	m
	Burden	B	1.07	m
Taladros de arrastre	Espaciamiento	Sc	1.17	m
	Taco	T	0.21	m
	Burden	B	0.45	m
Taladros de precorte	Espaciamiento	Sc	11.66	m

4.2.7. Propuesta en la malla de perforación RP1925

Después de conseguir los resultados matemáticos, se aplicó en terreno, pintando las mallas de perforación en el punto RP1925. Se tomaron muy en cuenta las distancias que el modelo matemático nos proporcionó, el seguimiento fue continuo, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Malla de perforación propuesta



Malla de perforación propuesta

Se construyeron las mallas de perforación estándar para la roca IV Mala A (RMR 31 - 40), basándose en los parámetros reales de perforación, el tipo de

explosivo que se utilizaría y la clase de roca. Se realizaron modificaciones para mantener la simetría y una distribución apropiada de los taladros en el frente.

Tabla 23. *Eficiencia de perforación con la malla sugerida según el anexo 4.*

Descripción	Unidad	Tipo de roca MALA – A
Cantidad de taladros perforados	ud	42
Cantidad de taladros rimados	ud	4
Longitud de perforación	m	3.3
Longitud total perforado por disparo	m	142.8
Tiempo promedio de perforación por taladro	min	1.95
Velocidad promedio de perforación por taladros	m/min	1.74
Tiempo promedio de emboquillado por taladro	min	0.27
Tiempo promedio de cambio de taladro a taladro	min	0.08
Tiempo promedio de demoras por taladro	min	0.15
Tiempo neto de perforación del frente	min	81.9
Tiempo total de emboquillado de taladro	min	11.34
Tiempo total de cambio de taladro a taladro	min	3.36
Tiempo total de demoras	min	6.3
Tiempo total de perforación	min	102.9
Tiempo total instalación, y otros	min	5
Tiempo total de perforación del frente	min	107.9
	hrs	1.80
Rendimiento del jumbo electrohidráulico	m/hr	79.41

Requerimiento de Explosivo

La solicitud del explosivo en el polvorín, basada en las evaluaciones geomecánicas y las pruebas efectuadas en el terreno, se presenta en la Tabla 25.

Tabla 24. Cantidad de explosivo para la malla propuesta

Sección	Nº tal.	Cartuchos/taladro		Total, cartuchos/taladro	
		Semexa 65 1-1/8"x12"	Exsablock 1-1/8"x8"	Semexa 65 1-1/8"x12"	Exsablock 1-1/8"x8"
Arranque	4	10		40	0
Ay. de arranque	4	9		36	0
Ay. de cuadrador	3	8		24	0
Cuadrador	4	4	7	16	28
Ay. arrastre	3	8	0	24	0
Arrastre	4	8	0	32	0
Cuneta	1	6	0	6	0
Ay. corona	4	5	7	20	28
Corona	5	0	5	0	25
Alivios arranque	4			0	0
Alivios contorno	6			0	0
Total, perforados	42	peso por cartucho		0,205	0.125
Total cargados	32	kilos de explosivo		40,59	10.125
Total semexa y exsablock pedido en el polvorín (cart.)				198	81

Rendimiento del explosivo

De acuerdo con los datos de la tabla 24, determinamos los datos siguientes:

Kilógramos totales de explosivo

$Kg = \text{pero de cartucho} * \text{número de cartuchos}$

$$Kg = 0.205 * 198 + 0.125 * 81$$

$$Kg = 50.72 \text{ kilogramos}$$

Volumen roto

$$V = A * H * A_v * 0.93$$

$$V = 3.50 * 3.50 * 3.40 * 0.93$$

$$V = 38.73 \text{ m}^3$$

Toneladas rotas

Tn rotas = Volumen * densidad de roca

$$Tn \text{ rotas} = 38.73 * 2.7 = 104.58 \text{ toneladas}$$

Factor de carga

$$Fc = \frac{\text{kg de explosivo}}{A * H + L * 0.9} = \frac{198 * 0.205 + 81 * 0.125}{3.50 * 3.50 * 3.4 + 0.9}$$

$$Fc = 1.35 \text{ kilogramos/m}^3$$

Factor de potencia

Fp = kilogramos de explosivo / toneladas rotas

$$Fc = 50.72 / 104.58$$

$$Fc = 0.48 \text{ kilogramos/toneladas}$$

Factor de carga lineal

Fc lineal = kilogramos de explosivo / longitud de taladro

$$Fc \text{ lineal} = 50.72 / 3.40$$

$$Fc \text{ lineal} = 14.92 \text{ kilogramos/metro}$$

La Tabla 25 muestra la eficacia del explosivo, considerando el peso del mismo según lo expuesto en la Tabla 24 y la malla recomendada.

Tabla 25. Cantidad de explosivo para la malla propuesta

Rendimiento	Unidad	Total
Kilos de explosivo	kg	50.72
Longitud del taladro	m	3.40
Volumen	m ³	38.73
Tonelaje	tn	104.58
Factor de carga	Kg/m ³	1.35
Factor de potencia	Kg/tn	0.48
Factor de carga lineal	Kg/m	14.92

4.2.8. Costos

Se estableció el costo basándose en los precios previamente citados, utilizados en la malla de perforación RP1925.

Costo de Perforación

Según las Tablas 5, 6 y 7, que muestran el precio por hora del jumbo electrohidráulico, el costo por unidad de aceros para perforar y el costo por unidad de herramientas y materiales empleados en la perforación del frente instalado en CMH S.A. El costo de la perforación, el de los aceros utilizados para perforar y el de las herramientas y materiales necesarios para realizar la perforación frontispicio con la malla que se recomienda están expuestas en las Tablas 26 y 27.

Tabla 26. *Costo de perforación con la malla propuesta*

Descripción	Unidad	Total
Tiempo total de perforación	hrs	1.80
Costo horario del jumbo	\$/hr	138.00
Combustible (petróleo)	\$	8.45
Costo del jumbo por disparo	\$	256.85
Costo de perforación por metro lineal	\$/m	81.03

Tabla 27. *Costos de aceros, herramientas y materiales de perforación según la malla propuesta*

Descripción	Consumo por guardia	Unidad de consumo	Vida útil	Unidad vida útil	Precio (\$)	Costo total (\$)
Aceros de perforación						
Barreno	142.8	m	2500	m	536.11	30.62
Shank adapter	142.8	m	3500	m	254.3	10.38
Broca B R32x45MM	142.8	m	200	m	83.12	59.35
Broca rimadora R32x102MM	13.61	m	200	m	221.92	15.10
Adaptador de rimadora	13.61	m	200	m	133.17	9.06
Herramientas y materiales						
Aceite de perforación almo	0.18	gal	1	gal	8.51	1.53
Tubo PVC (tubo de arrastre)	10	ud	1	disparo	1.28	12.80
Pintura esmalte color rojo	0.2	gal	1	gal	6.46	1.29
Brochas tumi de 3"	1	ud	10	disparo	4.63	0.46
Guiadores 1.5m	3	ud	150	disparo	1.54	0.03
Lampa tipo cuchara	1	ud	50	disparo	5.79	0.12
Pico minero	1	ud	50	disparo	7.56	0.15
Comba de 6 Lbs	1	ud	150	disparo	7.92	0.05
Llave Stillson de 12"	1	ud	150	disparo	11.49	0.08
Llave Francesa de 8"	1	ud	150	disparo	5.83	0.04
Barretilla de 6'	2	ud	30	disparo	17.42	1.16
Barretilla de 8'	2	ud	30	disparo	17.5	1.17
Barretilla de 10'	2	ud	30	disparo	20.39	1.36
Barretilla de 12'	2	ud	30	disparo	24.89	1.66
Cucharilla	2	ud	30	disparo	2.58	0.17
Manguera de jebe	50	m	100	disparo	3.25	1.63
Tacos de arcilla	25	ud	1	disparo	0.5	12.50
Tubo pvc (precorte)	5	ud	1	disparo	1.88	9.40

Cinta masking tape 3/4"x25m	1	ud	1	disparo	1.48	1.48
Atacador	2	ud	20	disparo	1.5	0.15
Escalera telescópica	1	ud	150	disparo	13.21	0.09
Costo herramientas y materiales por disparo (\$/)						171.82
Costo herramientas y materiales por metro lineal (\$/m)						54.20

Costo de voladura

La Tabla 25 presenta la cantidad de explosivo necesario para el disparo con la malla sugerida, mientras que la Tabla 6 muestra los precios por unidad, utilizados para determinar el costo de voladura con la malla sugerida.

Tabla 28. *Costo de explosivos por disparo con la malla propuesta*

Descripción	Consumo por disparo	Unidad consumo	Precio (\$)	Costo total (\$)
Semexa 65 1-1/8"x12"	198	ud	0.59	116.82
Exsablock 1-1/8"x8"	81	ud	0.29	23.49
Exsanel 4.20m N 180	32	ud	1.25	40.00
Guía ensamblada 2.4m-carmex	2	ud	0.86	1.72
Igneter cord	0,1	m	0.31	0.03
Cordón detonante (pentacord)	41	m	0.27	11.07
Costo total por disparo (\$/disp)				193.13
Costo voladura por metro lineal (\$/m)				60.92

Costos de mano de obra

Según la Tabla 4, se determina el costo laboral del personal en pleno que participa en el ciclo de minería en la RP1925.

Tabla 29. *Costo de mano de obra para la malla propuesta*

Operaciones	Descripción	Horas por labor	Und.	Incidencia (%)	Costo (\$)	Total (\$)
Perforación	Operador de jumbo	2.38	h/h	20.70%	52.06	10.77
Voladura	Maestro de operaciones	11.5	h/h	100.00%	35.05	35.05
	Ayudante de operaciones	11.5	h/h	100.00%	32.47	32.47
Servicios	Bodeguero	0.42	h/h	3.65%	32.47	1.19
Supervisión	Jefe de guardia	0.5	h/h	4.35%	128.86	5.60
	Capataz/Supervisor	1	h/h	8.70%	59.28	5.15
Costo total de mano de obra por disparo (\$)						90.24
Costo total de mano de obra por disparo (\$/m)						28.47

Costo de seguridad

Según la Tabla 9, se determina el costo de los dispositivos de seguridad para la malla sugerida en la RP1925.

Tabla 30. *Costo de implementos de seguridad con la malla propuesta*

		Cantidad	Vida	Ud	Precio	Costo
Descripción	Ud	Guardia	útil	vida útil	\$	total \$
Botas minero	par	12	180	disp	18.02	1.20
Chaleco de malla	ud	12	60	disp	5.41	1.08
Short	ud	12	60	disp	4.83	0.97
Casco con portalámpara azul	ud	12	365	disp	9.05	0.30
Barbiquejo	ud	12	60	disp	0.60	0.12
Respirador 3M	ud	12	180	disp	18.12	1.21
Filtro 3M	par	12	7	disp	3.36	5.76
Cartucho 3M	par	12	30	disp	4.35	1.74
Retenedor	par	12	180	disp	2.31	0.15
Guantes de Cuero	par	3	7	disp	3.04	2.17
Guantes hyplex	par	5	7	disp	7.14	7.14
Correa Portalámpara	ud	12	365	disp	3.33	0.11
Tapón de oído	Par	5	30	disp	0.33	0.06
Protector auricular (orejeras)	Par	7	365	disp	8.80	0.17
Camisaco y pantalón	ud	12	180	disp	30.43	2.03
Lámpara minera	ud	12	365	disp	78.98	2.60
lentes	ud	12	120	disp	4.08	0.41
Tafilete	ud	12	365	disp	3.24	0.11
Costo total de implementos de seguridad por disparo (\$)						27.41
Costo de implementos de seguridad por metro lineal (\$/m)						8.65

Tabla 31. *Resumen de costo de operaciones unitarias con la malla propuesta*

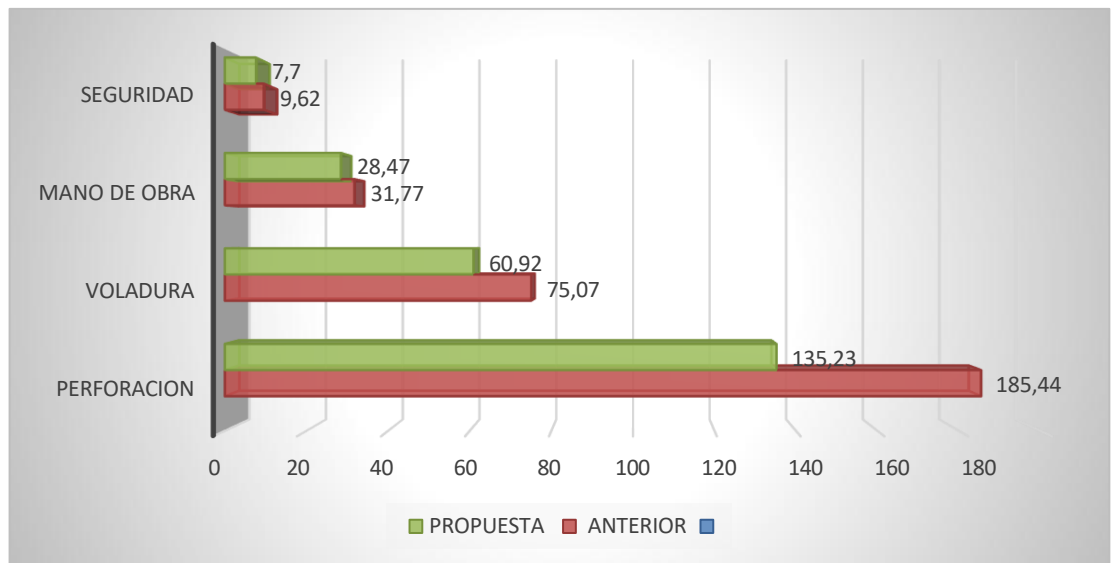
Operaciones unitarias	Descripción	Total	
	Avance real	3.17	m
Perforación	Costo del jumbo	81.03	\$/m
	Costo de herramientas y materiales	54.20	\$/m
	Costo total de perforación	135.23	\$/m
	Avance real	3.17	m
Voladura	Costo de voladura	60.92	\$/m
	Costo total de voladura	60.92	\$/m
	Avance real	3.17	m
mano de obra	Costos de mano de obra	28.47	\$/m
	Costo total de mano de obra	28.47	\$/m
	Avance real	3.17	m
seguridad	Costos de EPPs	7.70	\$/m
	Costo total de seguridad	7.70	\$/m
Costo total por metro de avance		232.32	\$/metro

4.2.9. Comparación de costos de la malla de perforación anterior y propuesta

Tabla 32. *Tabla comparativa de los costos de la propuesta anterior y del diseño propuesto*

Operaciones unitarias	Descripción	Anterior	Propuesta	Diferencia	
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costo del jumbo	119.58	81.03	38.56	\$/m
Perforación	Costo de herramientas y materiales	65.86	54.20	11.66	\$/m
	Costo total de perforación	185.44	135.23	50.21	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Voladura	Costo de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
	Costo total de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
Mano de obra	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costos de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Costo total de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Seguridad	Costos de seguridad (EPPs)	9.62	7.70	1.92	\$/m
	Costo total de seguridad	9.62	7.70	1.92	\$/m
costo total por metro de avance		301.90	232.32	69.58	\$/m

Figura 13. *Gráfico comparativo de costos con la malla anterior y propuesta*



En la ilustración 13. Los costos de perforación, voladura, trabajo y equipos de seguridad por metro de avance lineal se muestran junto con la malla de perforación actual y antigua; sus costos de beneficio son:

- Perforación: 50.21 US\$/m.
- Voladura: 14.14 US\$/m.
- Mano de obra: 3.31 US\$/m.
- Seguridad (EEPs): 1.92 US\$/m

4.3. Prueba de hipótesis

Para llevar a cabo la prueba de la Hipótesis general, he utilizado la prueba estadística "t" de Student, que se aplica a muestras dependientes con una extensión de muestras independientes. Su uso se lleva a cabo en trabajos de investigación con un número de muestras inferior a 30.

El resumen de los resultados previos y posteriores al diseño de la nueva malla de perforación y voladura en la Unidad Parcoy se muestra en la Tabla 32.

Tabla 33. Cuadro comparativo de costos del diseño anterior y el propuesto

Operaciones unitarias	Descripción	Anterior	Propuesta	Diferencia	
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costo del jumbo	119.58	81.03	38.56	\$/m
Perforación	Costo de herramientas y materiales	65.86	54.20	11.66	\$/m
	Costo total de perforación	185.44	135.23	50.21	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Voladura	Costo de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
	Costo total de voladura	75.07	60.92	14.14	\$/m
Mano de obra	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
	Costos de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Costo total de mano de obra	31.77	28.47	3.31	\$/m
	Avance efectivo por disparo	2.84	3.17	0.33	m
Seguridad	Costos de seguridad (EEPs)	9.62	7.70	1.92	\$/m
	Costo total de seguridad	9.62	7.70	1.92	\$/m

4.3.1. Formulación de las Hipótesis.

Hipótesis de Investigación

Con la realización de la Optimización del Diseño de Malla se Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.

Hipótesis estadística

H₀: La Implementación de la malla de perforación y voladura para optimizar costos en la rampa de UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.

H_a: La mejora en la malla de perforación y voladura el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consorcio Minero Horizonte.

4.3.2. Tratamiento estadístico e Interpretación de datos

Para la implementación debemos considerar el tipo de mineral y la roca que se va a extraer, con el fin de organizar todas las tareas requeridas para conseguir la extracción del mineral. En esta situación se utiliza el método de corte y relleno ascendente. Para comenzar con la extracción, se llevó a cabo primero una pendiente con un gradiente negativo del 15%. En el punto RP1925 se llevó a cabo cruceros de 3.50m x 3.50m con una pendiente del 1% para llegar a la veta. Una vez localizada la veta, se continúa con galerías con un gradiente de 1%

4.4. Discusión de resultados

Según los resultados logrados, se puede establecer que la estimación del factor de potencia es de 0,660 kg/TM, en contraste con el factor de potencia empleado en la mina Parcoy que es de 0,680 kg/TM, lo que señala una precisión del 97%.

Desde una perspectiva práctica, habrá un uso reducido de dinamita. Semexsa 45% de 1 1/8" x 12", lo que equivale a 11 cartuchos, o sea, medio cartucho menos en cada 22 taladros que emplean este tipo de explosivo. Es imprescindible indicar que en una pared se utilizan 40 taladros con carga: 18 con Exadit de 45% de 7/8" x 7" (taladros de contorno) y 22 con semexsa de 45% de 1 1/8" x 12". Se utilizan los datos de la zonificación geomecánica para estos resultados, lo que significa que no se genera ningún gasto ya que los datos están disponibles en la mina, en el Departamento de Geomecánica.

CONCLUSIONES

- Mediante el adecuado rediseño de la cantidad de explosivo para la voladura, se consiguieron progresos con una eficiencia del 95%. Esto significa que en la RP1925 los costos de perforación se reducen a un 32,2% y los costos de voladura se disminuyen a un 18,8%. Así, se alcanza el programa de progresos, consiguiendo disminuir los tiempos y gastos por unidad de las operaciones dentro del ciclo de minado.
- Las características físicas y mecánicas del macizo rocoso adquiridas en laboratorio facilitan una mejora significativa en el diseño de la malla de perforación y voladura en la Unidad Minera Parcoy del Consorcio Minero Horizonte SA
- Con la utilización de la malla de perforación y voladura sugerida, los costos de perforación se disminuirán de 119.58 US\$/metro a 81.03 US\$/metro, lo que representa una baja a 38.55 US\$/metro si se compara con los costos de la malla previa.
- La determinación de los parámetros geomecánicos para calcular el factor de potencia no implica ningún desembolso, dado que dichos parámetros se encuentran accesibles en los Departamentos de Geomecánica, de acuerdo con las normativas legales en vigor.

RECOMENDACIONES

- Es aconsejable que se realice el diseño de la malla para cada región geomecánica, ya que cada una posee parámetros geomecánicos y características físicas y mecánicas distintas.
- Es imprescindible conservar el paralelismo en las perforaciones mediante la correcta utilización de los guidores y también es igualmente imprescindible prevenir la perforación excesiva, dado que ambos elementos contribuyen a disminuir el progreso de la voladura.
- Recalcar que es crucial que los supervisores responsables de la voladura deben realizar una supervisión rigurosa al desarrollar la voladura para asegurar un buen desempeño.
- Recomendar a los expertos en el campo de la perforación y la voladura a proseguir con esta investigación utilizando sus propios parámetros geomecánicos y así continuar con la mejora en la, producción y costos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caceres, L. (2017). Optimización de la perforación y voladura con un nuevo diseño de una malla en el crucero 1014 en la empresa Minera Marza. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Castillo, J. y Medina, H. (2015). Aplicación de voladura controlada en labores de avance en sección 3.5 m x 3.0 m para la reducción del factor de avance y porcentaje de sobrerotura en Compañía Minera Condestable. Tesis para título profesional de Ingeniero de Minas. Trujillo, Perú: UNTA.
- Celada Tamames, Galera Fernández (1986) - Diseño y Utilización de Sostenimiento con Shotcrete Activos en la Minería Española Contreras, W. (2009). Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo modelamiento y análisis de vibraciones, aplicación en mina Ares, (tesis de pregrado). Lima, Perú.
- Consorcio Minero Horizonte, S. (2021). Somos consorcio minero horizonte. págs. 1-1. Departamento de geología CMH S.A. (s.f.). perforación y voladura de rocas en minería.
- Day, R. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos: NW-Washington. Estados Unidos. E.E Robocon Servicios S.A.C. (2017 y 2018) – Área de Productividad.
- Departamento de geología CMH S.A. (s.f.). Reducción de sobre rotura mediante el uso de voladura controlada del precorte en el crucero CX 1160 del nivel 2360 de la zona candelaria de la cia consorcio minero Horizonte. Universidad Nacional del Altiplano.
- Departamento de perforación y voladura CMH S.A. (s.f.). Manual práctico de voladura (Segunda ed.). La Libertad.

EXSA Explosivos. (2009). Manual práctico de voladura de rocas (1ra edición ed.). Lima.

EXSA S.A. (2021). Manual práctico de Voladura de Rocas (Primera ed.). Lima.

Exsa. (2002). Manual práctico de voladura. Exsa. (2003). Explosivos convencionales y accesorios para voladura. Segunda edición, Lima, Perú.

Famesa, E. (2018). Tipos de accesorios. Famesa explosivos. Obtenido de <http://www.famesa.com.pe/productos/sistemas-de-iniciacion/fulminante-comun-fulmesa/>

Guarín, M., & Jiménez, J. (27 de 06 de 2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación de estructura.

Hoek E. & Brown. (1980). Excavaciones subterráneas en rocas. México: Mc Graw Hill.

Holmberg, R. (1993). Rock blasting and explosives engineering CRC press, United States of America. <https://es.wikipedia.org/wiki/Voladura>
https://www.mindat.org/glossary/smooth_blasting
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13855149909408030>

Incognitovs. (4 de octubre de 2011). slideshare.net. Obtenido de es.slideshare.net: <https://es.slideshare.net/incognitokvs/voladura-controlada>.

Jimeno, C., Jimeno, E. Y Carcedo, F. (2004). Manual de perforación y voladura de John Standard (1990). Test Method for Specific Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete.

Konya, C. (2010). Manual de voladura konya. España.

López Jimeno, C. (1986). Cálculo y diseño de voladura en túneles. Madrid: Instituto tecnológico geo minero de España.

Manual Examine (2000). Departamento de Ingeniería Civil y Mecánica de Rocas – Universidad de Toronto, Canadá.

Mestas, R. (2016). Diseño de mallas de perforación y voladura aplicada al modelo matemático (1ra Edición ed.). Lima.

Ministerio de Energía y Minas, M. (2018). Descripción Parcoy. En MINEM. Obtenido de

<https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/parcoy/parcoy2.pdf> Propio. (2023). Informe de Prácticas. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Sánchez, J. (2014). Equipos y accesorios de perforación.

Sampieri, H. (1997). Metodología De La Investigación. México: Naucalpan de Juárez.

Sánchez, Y. (2012). Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de la rampa en la mina Bethzabeth (tesis para optar el título de ingeniero de minas). Universidad Central de Ecuador, Ecuador.

Seguridad Minera, R. (2018). Perforación minera: tipos, clases de maquinaria y ubicación de taladros. Revista de seguridad minera. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>

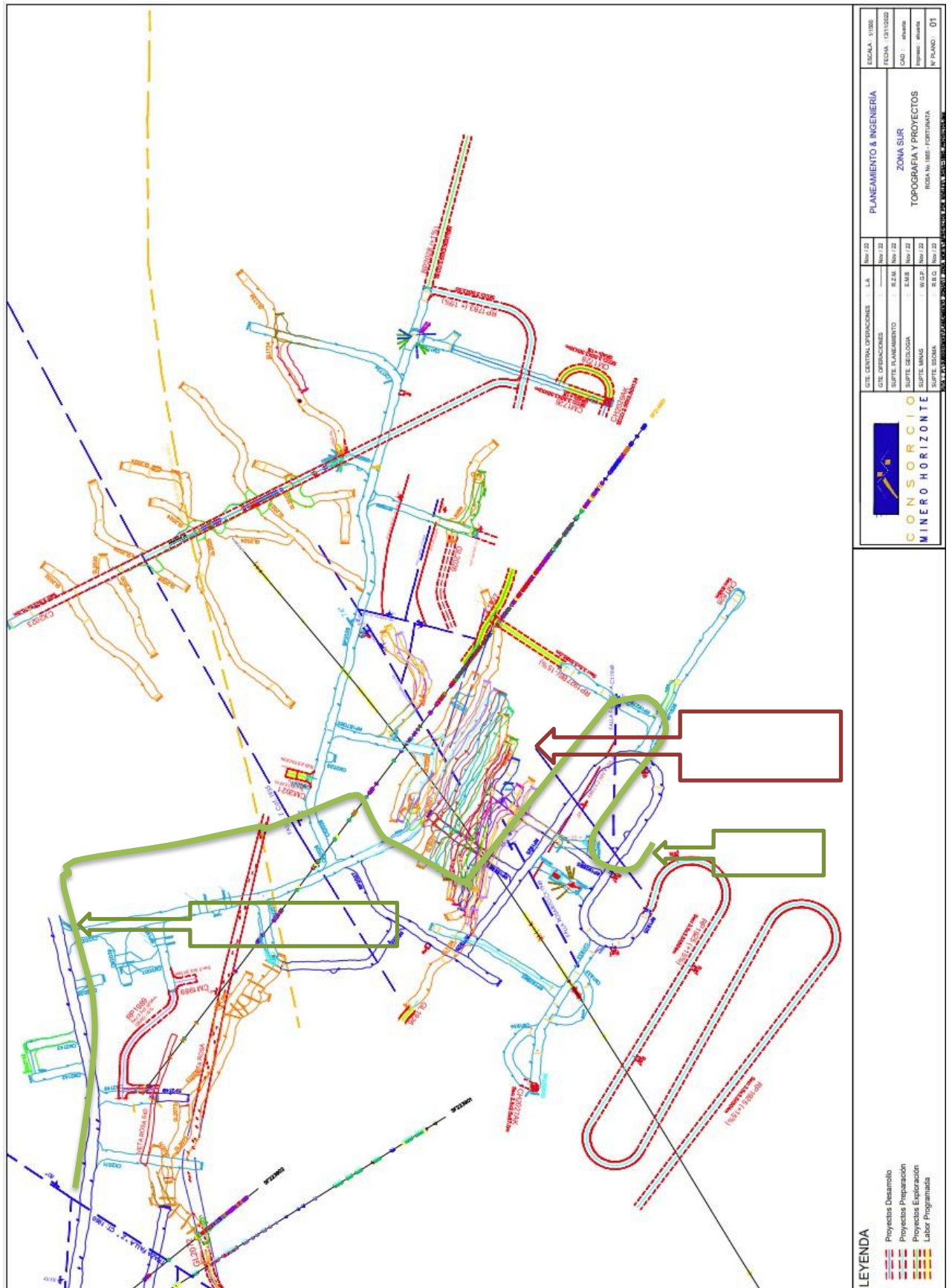
Tamayo, M. (1977). Metodología formal de la investigación científica. Comex. Bogotá.

The Kuz – Ram. (2005). Fragmentation model - 20 years on. Cunningham, C.N.B.C. South Africa: African explosives limited. Modder.

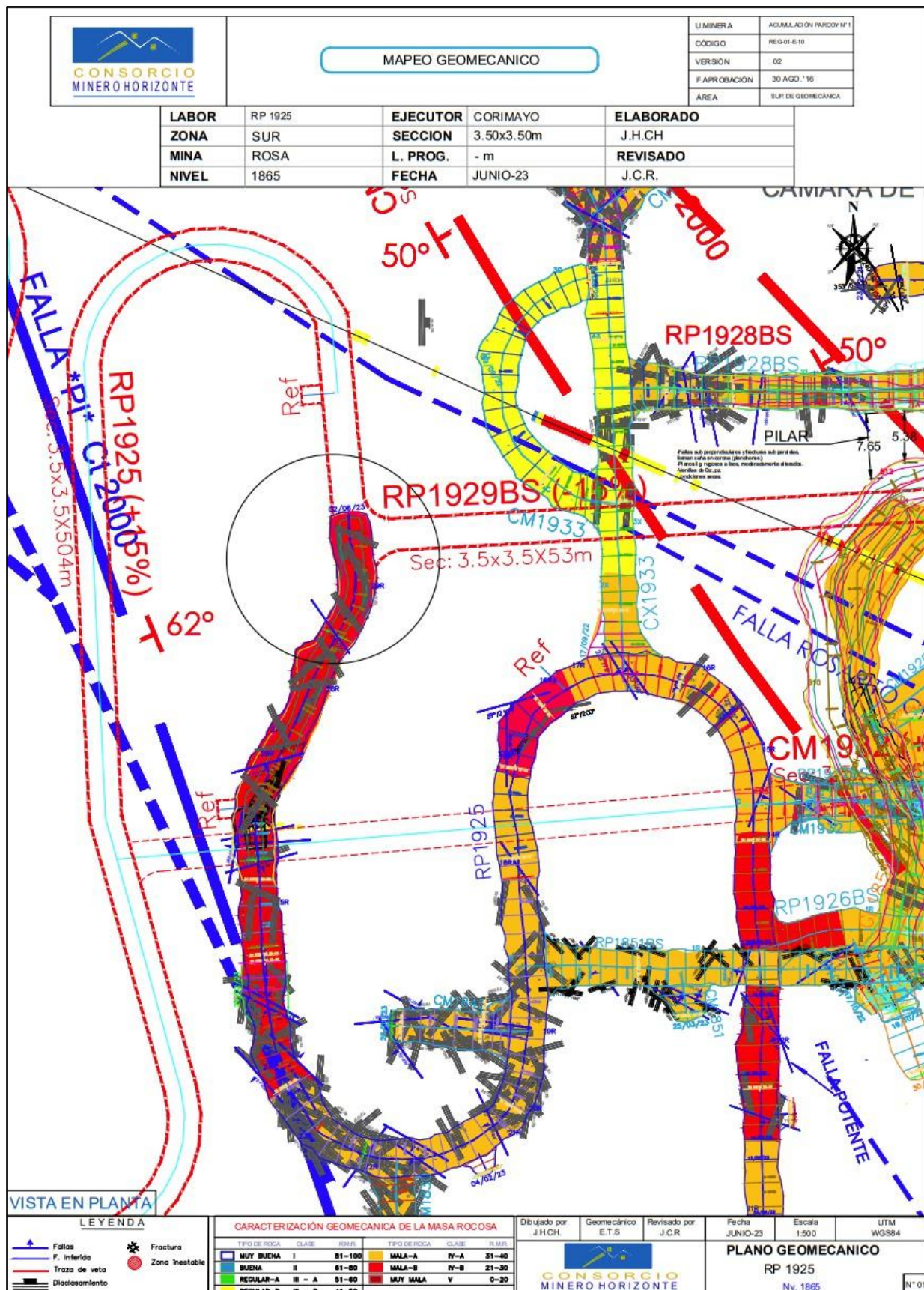
ANEXOS

Instrumentos de Recolección de Datos

Anexo 1 Mapeo geomecánica de la RP1925



Anexo 2 Esquema del diseño de la rampa de 1925



Anexo 3 Tabla geomecánica para trabajos constantes en la mina Parcoy



TABLA GEOMECAÁNICA Y ESTÁNDAR DE SOSTENIMIENTO
UNIDAD PARCOY-CMH

ANEX-02-E001

PERMANENTES

Codigo de Colores	Clasificación RMR		Valuación Índice Q				SOSTENIMIENTO
	RMR	Tipo de Roca	De	A	Tipo	Descripción	
Bianco (I)	81-100	I Muy Buena	50	1000	I-III	Muy Buena - Excep. Buena	Sin Sostenimiento
Verde Claro (II-A)	61-80	II Buena	10	50	IV	Buena	Según Sección de Excavación
Verde Oscuro (II-B)	51-60	III Regular A	5	10	V	Regular	Según Sección de Excavación
Amarillo (III-B)	41-50	III Regular B	1	5	VI	Mala	Según Sección de Excavación
Anaranjado (IV-A)	31-40	IV Mala A	0.1	1	VII	Muy Mala	Según Sección de Excavación
Rosa (IV-B)	21-30	IV Mala B	0.01	0.1	VIII	Extremadamente Mala	Según Sección de Excavación
Naranja (V)	0-20	V Muy Mala	0.001	0.01	IX	Excepcionalmente Mala	Según Sección de Excavación

LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 1.8 A 3.0 m.

Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento
Verde Claro (II-A)	Sin soporte, o Pernos de Fricción 5" instalados ocasionalmente.
Verde Oscuro (II-B)	Pernos de Fricción / Compresión 5" ocasionales; ó Sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m; ó Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg)
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión 5" / Adhesión 6" sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m.
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/20kg) + Pernos de Compresión 5" / Adhesión 6" sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Rosa (IV-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión 5" / Adhesión 6" sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m, ó Cuadros metálicos 4"x4"x13 para Ch.
Naranja (V)	Sh Estr. 2" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión 5" / Adhesión 6" sist. rango de 1.0 a 1.2m, de requerir + Sh 1" (F/20kg) ó Cintas/Cuadros metálicos 4"x4"x13 / Ch.

LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 3.0 A 5.0 m.

Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento
Verde Claro (II-A)	Sin soporte o Pernos de Compresión / Fricción 7" instalados ocasionalmente en cuñas potencialmente inestables.
Verde Oscuro (II-B)	Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión / Fricción 7" Sistemáticos rango de 1.5 a 1.8m.
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión 7" / Adhesión 8" Sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión 7" / Adhesión 8" Sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m
Rosa (IV-B)	Shotcrete Estructural 3" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión 7" / Adhesión 8" sist. rango 1.0 a 1.2m, de requerir + mas capa 1" de Shotcrete Estructural
Naranja (V)	Cintas de 4"x4"x13 / 5"x5"x20lbpie ó Sh. Estructural 4" (F/30-35kg) + Mala + Pernos de Compresión 7"/Adhesión 8" sist. rango 0.80 a 1.0m + Capa Sh Est. 1" ó i/c.

INTERSECCIONES Y LABORES PERMANENTES SECCIÓN ENTRE 5.0 A 20.0 m.

Codigo de Colores	TIPO DE SOSTENIMIENTO
Bianco (I)	Sin sostenimiento
Verde Claro (II-A)	Shotcrete Estructural 1" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.2 a 1.5m.
Verde Oscuro (II-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/15-20kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m.
Amarillo (III-B)	Shotcrete Estructural 2" (F/20-25kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 8" sistemáticos rango de 1.0 a 1.2m.
Anaranjado (IV-A)	Shotcrete Estructural 2" (F/25-30kg) + Pernos de Compresión/Adhesión 7" - 10" sistemáticos rango de 0.8 a 1.0m, de requerir + capa de Sh Est. 1"
Rosa (IV-B)	Sh Estr. 3" (F/30-35kg) + Per. Compresión/Adhesión 8"-10" sist. Rango de 0.8 a 1.0m, de requerir + capa de Sh Est. ó cintas 6"x6"x20; ó inyección de C.
Naranja (V)	Cintas de 6"x6"x20 lbpie ó Sh Est. 4" (F/30-40kg) + Per. Compresión/Adhesión 8"-10" sist. Rango de 0.8 a 1.0m, de requerir + Sh Est. 1", ó inyección de consolidación con resina y/o muros de Concreto.

NOTA:

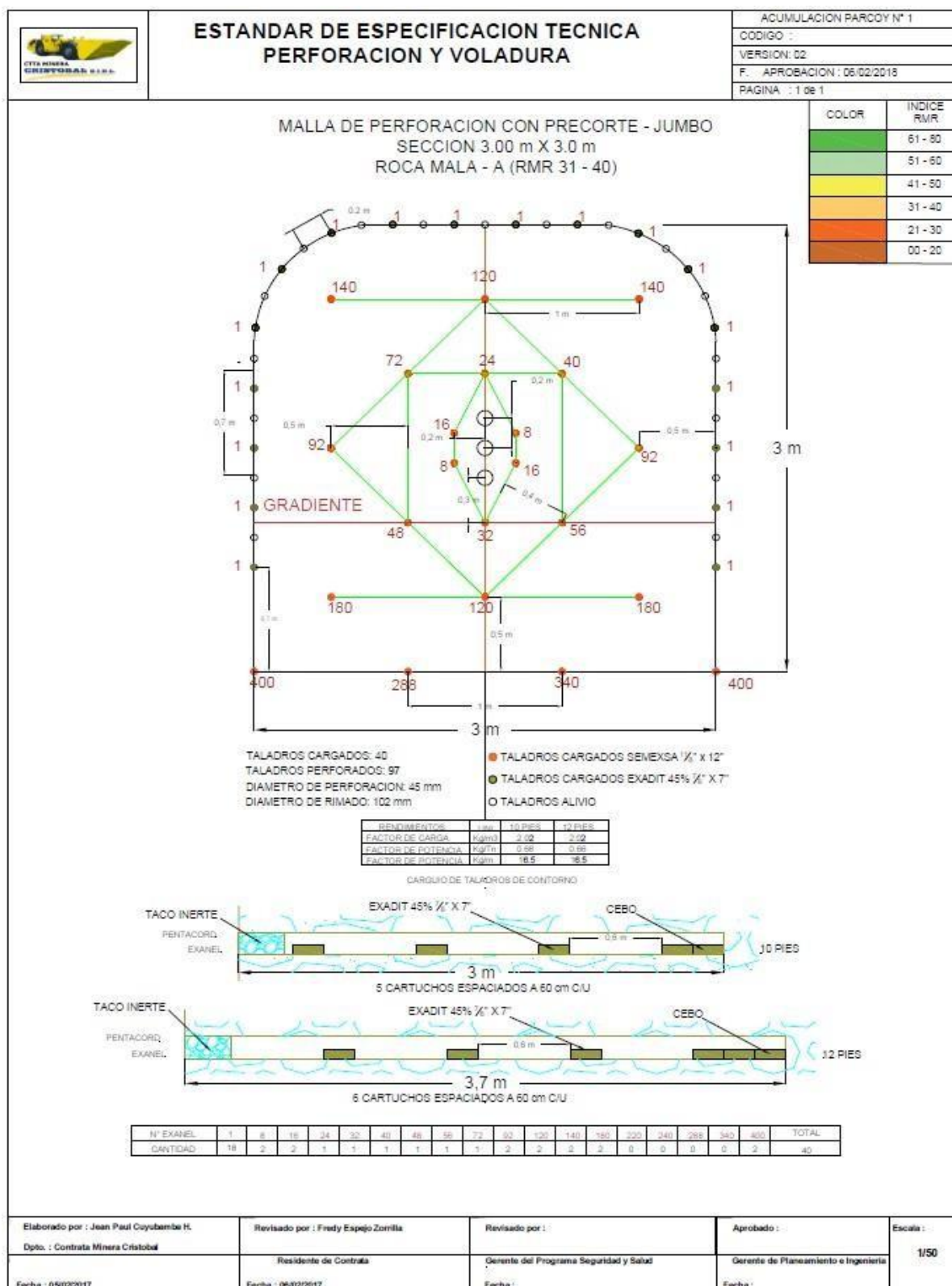
El Shotcrete estructural será lanzado principalmente de la bóveda hasta la gradiente (1.0m de pie de hastal), según recomendación geomecánica. Casos excepcionales en roca muy alterada se lanzará a sección completa.

De presentarse esfuerzos, con potencial de generar cruídos o "Seudo estallidos de rocas", se empleará malla de estabones sobre el refuerzo indicado en las opciones anteriores.

LEYENDA

Pernos de Fricción	Split Set o variedades.
Pernos de Compresión	Hydraboit, Swellex, X-Pandabolt, Phytan.
Pernos de Adhesión	Pernos Helicoidales, Pernos Autoperforantes, Varillas de fc.
Inyecciones de Consolidación	Con resinas ó lechada de Cemento
Puntales de Seguridad	Puntales de madera de 8" a 10" de diámetro.
Shotcrete Estructural	Shotcrete con Fibra Metálica 65/35 entre 15.20.30.40kg/m3 ó Fibra 45/35 30.40.50kg/m3
Malla	Malla Electro-soldada cocada 4"x4" ó 2"x2"
Malla de estabones	Malla de estabones de alambre galvanizado cocada 3"x3"
Cuadros Metálicos	Cuadros de vigas "H" de 4"x4"x13 Libras/pie para Chimeneas construidos con Alimak, secciones variables.
Cintas Metálicas	Estructuras de vigas "H" de 5"x5"x20Libras/pie para labores de secciones = ó > a 44ftm. Vigas "H" de 4"x4"x13Libras/pie para secciones < 35x3.5m.
Jack Pot	Para puntales de madera de 7", 8" a 10" de diámetro, son Platos Inflables a presión hidráulica.
Spilling Bar	Puede ser con Varillas de fierro corrugado, pernos Autoperforantes, con cementante/resina, ó pernos de compresión.
Fibra F/20kg	Fibra metálica y su dosificación por m3, en este caso 20kg
Jack Pat	Mantas Metálicas inflables a presión hidráulica, para confinar Wood Pack
Wood Pack	Castillos de cribbing

Anexo 4 Especificaciones Técnicas Estándar, perforación y voladura - Sección de 3m x 3m



Anexo 5

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TÍTULO: Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy - Consorcio Minero Horizonte.						
Tesista: Bach. CABELLO MILLA, WILLIAM HENRY						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICAD.	TIPO Y NIVEL DE INVEST
GENERAL: ¿Es posible realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte? Problemas Específicos A. ¿Se podrá optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte? B. ¿Sera posible mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte?	GENERAL: Realizar la Optimización del Diseño de Malla para Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte. Objetivos Específicos A. Optimizar el diseño de la malla de perforación y voladura para reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte. B. Mejorar la perforación y la voladura controlando el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte.	GENERAL Con la realización de la Optimización del Diseño de Malla se Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM Parcoy - Consorcio Minero Horizonte. Hipótesis Específicas A. Si optimizamos el diseño de la malla de perforación y voladura se reducir la sobrerotura en la rampa de UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte. B. Si mejoramos la perforación y la voladura se controlará el paralelismo en los hastiales de la rampa de la UM Parcoy del Consocio Minero Horizonte. .	INDEPENDIENTE X: Optimización del Diseño de Malla de la Rampa en la UM. Parcoy. DEPENDIENTE Y: Reducir los Costos de la Perforación y Voladura de la Rampa en la UM. Parcoy.	Plan de Mina Operaciones Mineras Ciclo de Minado UM. Parcoy Consorcio Minero Horizonte.	Profundidad de taladro Numero de taladros Burden Espaciamiento Paralelismo Malla de Perforación Parámetros Costos	TIPO: Aplicada. NIVEL: Evaluativa.

Anexo 6

PANEL FOTOGRAFICO

La perforación de la rampa de 1925 utilizando un jumbo



Pintado con un nuevo inicio sugerido

