

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Evaluación técnica económica de los frentes de avances  
para la reducción de costos por disparo  
en la unidad minera Huarón**

Josias Oliver Hinojosa Mendoza  
Luis Enrique Poma Limache

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : Ing. Felipe Néstor Gutarra Meza  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : Ing. Javier Carlos Córdova Blancas  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 22 de Marzo de 2024

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LOS FRENDES DE AVANCES PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS POR DISPARO EN LA UNIDAD MINERA HUARON", perteneciente a los estudiantes LUIS ENRIQUE POMA LIMACHE y JOSIAS OLIVER HINOSTROZA MENDOZA, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: 10) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,


---

Ing. Javier Carlos Córdova Blancas  
Asesor de tesis

Cc.  
Facultad  
Oficina de Grados y Títulos  
Interesado(a)

## **ASESOR**

Ing. Javier Carlos Córdova Blancas

## **AGRADECIMIENTO**

Ante todo, agradecer a nuestros padres quienes nos estuvieron acompañando durante el proceso de la tesis.

A nuestro asesor, quien con su amplia experiencia en el ámbito minero nos guio en la realización de nuestro proyecto de tesis.

## **DEDICATORIA**

A nuestras familias.

A la minería peruana.

Al área de Operaciones  
mineras de Huarón.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

ASESOR .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	15
1.1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.1.2 Formulación del problema.....	16
1.2 Objetivos .....	16
1.2.1 Objetivo general .....	16
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
1.3 Justificación e Importancia .....	17
1.3.1 Justificación practica .....	17
1.3.2 Justificación teórica .....	17
1.3.3 Justificación metodológica .....	18
1.4 Hipótesis .....	18
1.4.1 Hipótesis general .....	18
1.4.2 Hipótesis específicas.....	18
1.5 Identificación de variables .....	18
1.5.1 Variable independiente.....	18
1.5.2 Variable dependiente .....	18
1.6 Matriz de operacionalización de variables.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	20
2.1 Antecedentes del problema.....	20
2.1.1 Antecedentes nacionales .....	20
2.2 Generalidades unidad minera Huarón.....	22
2.2.1 Ubicación y accesibilidad .....	22

2.2.2 Geología .....	23
2.3 Bases teóricas .....	26
2.3.1 Métodos de explotación utilizados en la unidad minera Huarón.....	26
2.3.2 Tipos y diseño de labores mineras.....	29
2.3.3 Ciclo de minado unidad minera Huarón .....	31
2.3.4 Ventilación.....	32
2.4 Plan de minado de largo plazo de la unidad minera Huarón .....	33
2.4.1 Labores de preparación, desarrollo y explotación de la unidad minera Huarón .....	35
2.4.2 Criterios para la evaluación técnica y económica de un frente de avance modelo.....	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.1 Método y alcances de la investigación .....	45
3.1.1 Método general o teórico de la investigación .....	45
3.1.2 Alcance de la investigación .....	45
3.2 Diseño de la investigación.....	46
3.3 Población y muestra.....	46
3.3.1 Población .....	46
3.3.2 Muestra .....	46
3.4 Técnicas de recolección de datos .....	46
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	46
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....	47
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1 Análisis operacional del estudio .....	48
4.1.1 Estudio geomecánico del macizo rocoso .....	48
4.1.2 Análisis técnico económico de los frentes de avances.....	51
4.2 evaluación técnica económica de los frentes de avances de la unidad minera Huarón.....	57
4.2.1 Análisis del diseño de malla de perforación y voladura con barra de 12 pies. ....	57
4.2.2 Análisis del diseño de malla de perforación y voladura con barra de 14 pies. ....	60
4.2.3 Análisis de costos de perforación y voladura - 12 pies.....	62
4.2.4 Análisis de costos de perforación y voladura - 14 pies.....	64



4.3 Discusión de resultados .....	66
4.4 Análisis de estudio – rampa 4.5 x 4.0.....	72
4.5 Validación de la hipótesis – rampa 4.5 x 4.0 .....	77
CONCLUSIONES .....	80
RECOMENDACIONES.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables .....	19
Tabla 2. Producción de mineral a largo plazo por método de minado, unidad minera Huarón.....	34
Tabla 3. Programa anual de avances del Año 2017 al 2020 de la unidad minera Huarón.....	36
Tabla 4. Diseño de la evaluación técnica y económica de los frentes de avance .....	38
Tabla 5. Cálculo del factor por beneficios sociales - mano de obra .....	39
Tabla 6. Costos de implementos de seguridad.....	40
Tabla 7. Costo de mano de obra mina.....	41
Tabla 8. Herramientas y accesorios de perforación.....	42
Tabla 9. Costo de acero de perforación .....	43
Tabla 10. Costo de energía .....	43
Tabla 11. Costo de los explosivos .....	44
Tabla 12. Datos de estabilidad en la veta Travieso .....	49
Tabla 13. Parámetros de perforación en la veta Travieso.....	52
Tabla 14. Costo Horario del jumbo frontonero .....	54
Tabla 15. Costo Horario del equipo Scooptram LH 6 yd <sup>3</sup> .....	56
Tabla 16. Esquema de carguío de 4 m x 4.5 m con barra de 12 pies.....	59
Tabla 17. Esquema de carguío de 4 m x 4.5 m con barra de 14 pies.....	61
Tabla 18. Parámetros de perforación Jumbo frontonero con scooptram 6 yd <sup>3</sup> con barra de 12 pies .....	62
Tabla 19. Estructura de costos de la perforación y voladura en frentes de avances con barra de 12 pies .....	63
Tabla 20. Parámetros de perforación Jumbo frontonero con scooptram 6 yd barra de 14 pies .....	64
Tabla 21. Estructura de costos de la perforación y voladura en frentes de avances con barra de 14 pies.....	65
Tabla 22. Comparación de parámetros de perforación.....	67
Tabla 23. Mejora de los parámetros de perforación.....	67
Tabla 24. Comparación de costos de los frentes de avance .....	68

Tabla N. 25: reducción de costos con barra de 14 pies .....	68
Tabla 26. Resumen del plan de minado ejecutado del año 2017 al año 2020.....	69
Tabla 27. Análisis de pérdida de penetración de la roca en la veta Travieso.....	71
Tabla 28. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a agosto .....	73
Tabla 29. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio .....	74
Tabla 30. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio .....	76
Tabla 31. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la unidad minera Huarón.....	22
Figura 2. Accesibilidad a la unidad minera Huarón.....	23
Figura 3. Plano de la geología regional .....	24
Figura 4. Sistema de fallas unidad minera Huarón .....	25
Figura N. 5: Secuencia de minado corte y relleno ascendente .....	27
Figura 6. Diseño de taladros largos .....	28
Figura 7. Diseño de secuencia de minado taladros largos .....	28
Figura 8. Dimensionamiento del equipo con la sección Típica 3.8 x 4.0.....	30
Figura 9. Diseño de la ventilación unidad minera Huarón.....	33
Figura 10. Estabilidad por el método de Mathews .....	49
Figura 11. Factor de seguridad de los trabajos de preparación y desarrollo de la veta travieso .....	50
Figura 12. Perforación de frente de avance en la unidad minera Huarón .....	53
Figura 13. Diseño de malla de perforación y voladura, unidad minera Huarón.....	58
Figura 14. Diseño de malla de perforación y voladura, unidad minera Huarón.....	60
Figura 15. Metraje de frentes de avance del año 2017 al 2020 respectivamente.....	70

## RESUMEN

En la unidad minera Huarón se tiene deficiencias en los avances de las labores. En secciones de 4.5 m x 4.0 m se viene perforando con barras de 12 pies y el avance que se tiene es de 2.96 metros, esto porque el equipo utilizado en la perforación es un equipo modificado con deficiencias; por lo que en este trabajo se busca lograr un mayor avance de perforación y voladura de las labores principales, por ello la mejor alternativa es adquirir un equipo jumbo nuevo y una barra de 14 pies para que la perforación sea óptima, así se tendría un avance real de 3.44 metros, para la limpieza se utiliza el scooptram R1300G de 4 yd<sup>3</sup> de capacidad que realiza la limpieza del frente en tres horas a una distancia de 150 metros hacia la cámara de acumulación y ejerciendo una demora significativa que repercute en la operación y genera pérdida de tiempo, es por ello que se plantea adquirir un scooptram de 6 yd<sup>3</sup>, reduciendo el tiempo de limpieza a la mitad.

El costo total directo en perforaciones de 12' y 14' fueron de 1,161.75 S/m y de 1,024.02 S/m respectivamente, con una reducción de 137.73 S/m, incidiendo directamente en los costos de avance en rampas de 4.5 m x 4.0 m. El aumento del costo del explosivo y accesorios de voladura se incrementó en 6.99 nuevos soles por metro lineal, este incremento del costo fue producto de la mayor longitud de perforación. Se redujo el consumo de combustible para los equipos respectivos equivalente a 8.69 nuevos soles por metro lineal.

El ahorro general que engloba el costo total directo, la utilidad, costo de explosivos y accesorios y costo de combustible fue de 158.13 nuevos soles por metro lineal.

Durante el análisis técnico y económico del periodo enero a agosto, considera un incremento de avance efectivo en 0.48 m/disparo, una reducción de tiempo en 0.78 h/disparo y una reducción de costos en 44.05 \$/disparo.

**Palabras clave:** costos, avance efectivo, metros perforados, consumo combustible, scoop, jumbo, etc.

## ABSTRACT

In the Huarón Mining Unit, there are deficiencies in the progress of the work, in sections of 4.5 m It is a modified equipment with deficiencies, in this work it is to achieve greater progress in drilling and blasting the main tasks, therefore the best alternative is to acquire a new jumbo equipment so that the drilling is optimal and a 14-foot bar, it would have a actual advance of 3.44 meters, for cleaning the R1300G scooptram of 4 yd<sup>3</sup> capacity is used, which cleans the front in 3 hours at a distance of 150 meters towards the accumulation chamber and exerting a significant delay that affects the operation. and it causes us a loss of time, which is why we consider purchasing a 6 yd<sup>3</sup> scooptram, reducing cleaning time by half.

The total direct cost in 12' and 14' drillings were 1,161.75 S/m and 1,024.02 S/m respectively, with a reduction of 137.73 S/m, directly affecting the costs of advancement in ramps of 4.5m x 4.0m.

The increase in the cost of explosives and blasting accessories increased by 6.99 new soles per linear meter; this increase in cost was a result of the greater drilling length. Fuel consumption for the respective equipment was reduced equivalent to 8.69 new soles per linear meter.

The general savings that includes the total direct cost, utility, cost of explosives and accessories and cost of fuel, was 158.13 new soles per linear meter.

During the technical and economic analysis of the period January to August, it considers an increase in effective advance by 0.48 m/shot, a reduction in time by 0.78 h/shot and a cost reduction by 44.05 \$/shot.

**Keywords:** costs, effective advance, meters drilled, fuel consumption, scoop, jumbo, etc.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las diferentes operaciones mineras vienen evaluando cómo incrementar el avance de las labores de preparación, como se sabe que son operaciones unitarias que se desarrollan a diario, realizar un ajuste y controlar los costos por disparo generará una mejor rentabilidad operacional. Así, estudios adecuados de geomecánica, con un conocimiento adecuado del macizo rocoso y su implicancia en el diseño de mallas de perforación y voladura, ayudarán a la mejora en los avances por disparo con una adecuada selección y dimensionamiento de equipos de perforación y acarreo.

Actualmente, en la unidad minera se viene utilizando barras de perforación de 12 pies, siendo motivo del presente estudio, considerar la aplicación de barras de 14 pies para su evaluación respectiva. Este incremento en longitudes de perforación influirá en los costos unitarios asociados, así como un mayor consumo de explosivos, por tener mayor longitud de perforación.

El análisis se realizará en rampas de 4.5 x 4.0 metros, considerando el uso de barras de perforación de 12 pies comparándolas con barras de perforación de 14 pies. Es importante considerar que el incremento de metros perforados afectará en un mayor volumen de material a acarrear, por lo que se considera el cambio de equipos de limpieza scoops de 4.2 yd<sup>3</sup> a scoops de 6.0 yd<sup>3</sup> para reducir el tiempo de limpieza.

Asimismo, se propone el uso de equipos nuevos, considerando un jumbo con 14 pies de perforación y scoops de 6 yd<sup>3</sup> para la limpieza, los que incidirán en su costo horario, generando una mejor rentabilidad operacional en la unidad minera.

Al utilizar barras de perforación de 12 pies considera un avance de 2.96 metros lineales, siendo el objetivo la mejora en barras de perforación de 14 pies. Al utilizar el scoop de 6 yd<sup>3</sup> se busca reducir el tiempo de limpieza en los diferentes frentes. Con estas mejoras se logrará mejorar el avance por disparo en la unidad minera.

El presente estudio se desarrolla en cuatro capítulos, considerando el planteamiento de problema, objetivo e hipótesis, así como la metodología de investigación y el análisis e interpretación de resultados.

Los autores



# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

La estructura de costos operacionales en una operación minera está directamente relacionada al cumplimiento de los planes de minado, siendo de vital importancia el cumplimiento del tonelaje programado, para lo que el cumplimiento en tiempo y costo de labores de desarrollo es de vital importancia. Por tal motivo, el estudio del presente trabajo involucra la mejora del avance efectivo en labores de desarrollo utilizando longitudes de perforación de 14 pies, comparado con el escenario inicial de 12 pies, mejorando su rendimiento operacional.

El uso de mayores longitudes de perforación de 12 pies a 14 pies será dependiente de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, considerando y controlando el desvío de los taladros para cumplir con la sección, volumen y avance programado. La mejora en el avance efectivo con 14 pies considera un mayor avance y una reducción de costos por disparo. Si bien es cierto que una mayor longitud de perforación involucra un mayor consumo de aceros de perforación, explosivos y accesorios de voladura, esto comparado con la mejora del rendimiento de avance y menores costos involucra el cumplimiento programado en la unidad minera.

En la unidad minera Huarón se tiene deficiencias en los avances de las labores en secciones de 4.5 m x 4 m, ya que se viene perforando con barras de 12 pies y el avance que se tiene es de 2.96 metros porque el equipo utilizado en la perforación es un equipo modificado con deficiencias, por lo que en este trabajo se busca lograr un mayor avance de perforación y voladura de las labores principales, por ello la mejor alternativa fue adquirir un equipo jumbo nuevo para la perforación y el uso de scoops de 6 yd<sup>3</sup> para la limpieza que reemplazará al scoop R1300G de 4 yd<sup>3</sup>, que considera un tiempo de limpieza en tres horas para distancias de 150 metros hacia la cámara de acumulación.

### **1.1.2 Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo influye la evaluación técnica y económica en los frentes de avance para la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye el cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' en los frentes de avance para el incremento de avance efectivo y la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón?
- ¿Cómo influye el cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' en la reducción de tiempo y costos, para el desarrollo de labores de avance y preparación en la unidad minera Huarón?

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la influencia de la evaluación técnica y económica en los frentes de avance para la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón.

#### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la influencia del cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' en los frentes de avance para el incremento de avance efectivo y la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón.

- Determinar la influencia del cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' en la reducción de tiempo y costos, para el desarrollo de labores de avance y preparación en la unidad minera Huarón.

### **1.3 Justificación e Importancia**

#### **1.3.1 Justificación practica**

En la unidad minera Huarón se tiene deficiencias en los avances de las labores. En secciones de 4.5 m x 4.0 m se viene perforando con barras de 12 pies y el avance que se tiene es de 2.96 metros, esto porque el equipo utilizado en la perforación es un equipo modificado con deficiencias; por lo que en este trabajo se busca lograr un mayor avance de perforación y voladura de las labores principales, por ello la mejor alternativa es adquirir un equipo jumbo nuevo y una barra de 14 pies para que la perforación sea óptima, así se tendría un avance real de 3.44 metros, para la limpieza se utiliza el scooptram R1300G de 4 yd<sup>3</sup> de capacidad que realiza la limpieza del frente en tres horas a una distancia de 150 metros hacia la cámara de acumulación y ejerciendo una demora significativa que repercute en la operación y genera pérdida de tiempo, es por ello que se plantea adquirir un scooptram de 6 yd<sup>3</sup> para reducir el tiempo de limpieza a la mitad.

#### **1.3.2 Justificación teórica**

Se propone la adquisición de un equipo nuevo, un jumbo para los trabajos de frentes con barra de 14 pies y un scooptram de 6 yd<sup>3</sup> para la limpieza que ayuden a mejorar el costo en avances como en la explotación, así como la preparación de las labores de la unidad minera Huarón.

Al adquirir el equipo jumbo se busca incrementar el avance lineal de 3 a 3.5 metros lineales considerando el uso del scoop de 6 yd<sup>3</sup>, también se espera reducir el tiempo de limpieza en los frentes de avance. Con estas mejoras se logrará cumplir con el avance por disparo y disminución en el tiempo de limpieza de las labores de avance considerando un control y disminución de costos operacionales en la unidad minera.

### **1.3.3 Justificación metodológica**

La presente investigación constituirá un aporte metodológico para la evaluación técnica económica de los frentes de avances para la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón.

## **1.4 Hipótesis**

### **1.4.1 Hipótesis general**

Al determinar la influencia de la evaluación técnica y económica en los frentes de avance se influirá en la reducción de costos por disparo en la unidad minera Huarón.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- Al determinar la intervención del cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' en los frentes de avance se influirá en el incremento de avance efectivo y la reducción de costos por disparo en la Unidad Minera Huarón.
- Al determinar la intervención del cambio de longitudes de perforación de 12' a 14' se influirá en la reducción de tiempo y costos para el desarrollo de labores de avance y preparación en la Unidad Minera Huarón.

## **1.5 Identificación de variables**

### **1.5.1 Variable independiente**

Evaluación técnica económica de los frentes de avances.

### **1.5.2 Variable dependiente**

Reducción de costos por disparo.

## **1.6 Matriz de operacionalización de variables**

**Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables**

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
<b>V.I.:</b>  Evaluación técnica económica de los frentes de avances.	Es el análisis de parámetros y factores de los equipos utilizados, en la perforación el jumbo y en la limpieza el scooptram primordiales para el avance de las labores en preparación o de desarrollo, cuya justificación factible y viable es por medio del análisis del flujo de caja y el análisis de sensibilidad.	Evaluación económica del equipo de perforación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo horario del equipo (\$/h)</li> <li>• Costo del metro perforación (\$/m)</li> </ul>
		Evaluación económica del equipo de limpieza scooptram	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo horario del equipo (\$/h)</li> <li>• Distancia de acarreo (m)</li> </ul>
<b>V.D.:</b>  Reducción de costos disparo.	Es la minimización del costo de perforación y voladura como también el costo de limpieza por medio de un análisis comparativo de ambos costos, del antes y después se contará con un panorama específico para la toma de decisiones óptimas para el proyecto minero.	Evaluación del precio unitario por actividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de perforación (\$)</li> <li>• Costos de voladura</li> <li>• Costo de limpieza</li> </ul>
		Evaluación del avance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de días por año</li> <li>• Metros de avance(m)</li> </ul>
		Evaluación del flujo de caja económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VAN</li> <li>• TIR</li> <li>• Radio beneficio costo</li> </ul>
		Evaluación del análisis de sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación de ventas (%)</li> <li>• Variación en gastos (%)</li> </ul>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del problema**

##### **2.1.1 Antecedentes nacionales**

- Tesis titulada: «*Optimización de la perforación y voladura para minimizar costos en la construcción de la rampa (-) 4640 de la mina Pallca, compañía minera Santa Luisa S.A.C. – 2018*». El objetivo de la investigación fue mejorar los costos de perforación y voladura de la rampa (-) 4640. Los resultados obtenidos consideran una mejora en el avance efectivo de 145.9 a 153.9 metros con un aumento de 8 metros. Los costos se redujeron de 111,375.3 a 109,038.7 soles, con una reducción de costos de 2,336.6 soles, durante el periodo de estudio (1).
  
- Tesis titulada: «*Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animón*». El objetivo de la investigación fue determinar la reducción de costos de perforación y voladura. Los resultados permitieron el control de la voladura secundaria y control de consumo de aceros de perforación, con un monto de 3'925,570 \$/año. La operación unitaria de sostenimiento experimentó la mayor reducción del costo operativo, que fue de 2.35 \$/t (56.08 % de la reducción total), se redujo el costo de perforación de 1.10 \$/t (26.25 % de la reducción total), el costo de la voladura de 0.42 \$/t (10.02 % de la reducción total) y en la limpieza-acarreo de 0.32 \$/t (7.64 % de la reducción total) (2).

- Tesis titulada: «*Optimización de la perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda. – 2016*». El objetivo fue reducir los costos de perforación y voladura para el incremento de las ganancias del proyecto. En el resultado se logra apreciar las utilidades del año se maximizaron al reducir los costos de peroración en un 2 % y el consumo de brocas y aceros en un 1.98 %, se logró aumentar la utilización de menos del 75 % al 77 %. La conclusión obtenido, fue controlar la pérdida de tiempos operacionales, así como la capacitación constante de los trabajadores (3).
- Tesis titulada: «*Optimización de los estándares de perforación y voladura para incrementar la producción en la Unidad Andaychagua Compañía Minera Volcán*». El objetivo fue mejorar el estándar de perforación y voladura de las labores encomendadas. En los resultados el tonelaje de mineral aumentó en 4,422.42 TMH, generando una ganancia mensual de \$ 611,481.0. Se logró un ahorro mensual de \$ 4,989.60 en perforación, el replanteo de la mallas de perforación y voladura estandarizado se tuvo un aumentó de 3.03 m/disparo. El factor de potencia se redujo de 0,29 kg/t a 0,24 kg/t, lo que resultó en un ahorro mensual de \$ 6,379.56 en explosivos y la cantidad de sostenimiento utilizado en el trabajo (shotcrete vía húmeda) disminuyó lográndose un ahorro mensual de \$ 24,097.50 y el uso del explosivo Exsablock mejoró la sobre dilución de 16.71% a 13.62% respectivamente (4).
- Tesis titulada: «*Optimización de la producción y avance mediante diseño de perforación y voladura en rampa 650 en la empresa especializada IESA S.A. CIA Minera Ares S.A.C.*». El objetivo fue definir un nuevo diseño de malla de perforación y voladura para la mejora de la producción en la unidad minera. Los resultados obtenidos consideran una reducción de metros perforados mediante la reducción a 44 taladros perforados, reduciendo los kilogramos de explosivos. Así mismo, hubo una mejora del avance efectivo en 0.40 m/disparo. La mejora en los parámetros operacionales de PyV, con un mejor avance y un mayor tonelaje, considera una mejora de 121.48 \$/m y una reducción de consumo de explosivos en 65.5 kg (5).

## 2.2 Generalidades unidad minera Huarón

### 2.2.1 Ubicación y accesibilidad

La ubicación de la unidad minera Huarón se encuentra en el distrito de Huayllay, provincia de Pasco y departamento de Cerro de Pasco. Situado en la parte oriental de la cordillera occidental de los Andes, a una altura de 4,540 m s. n. m.

Coordenadas:

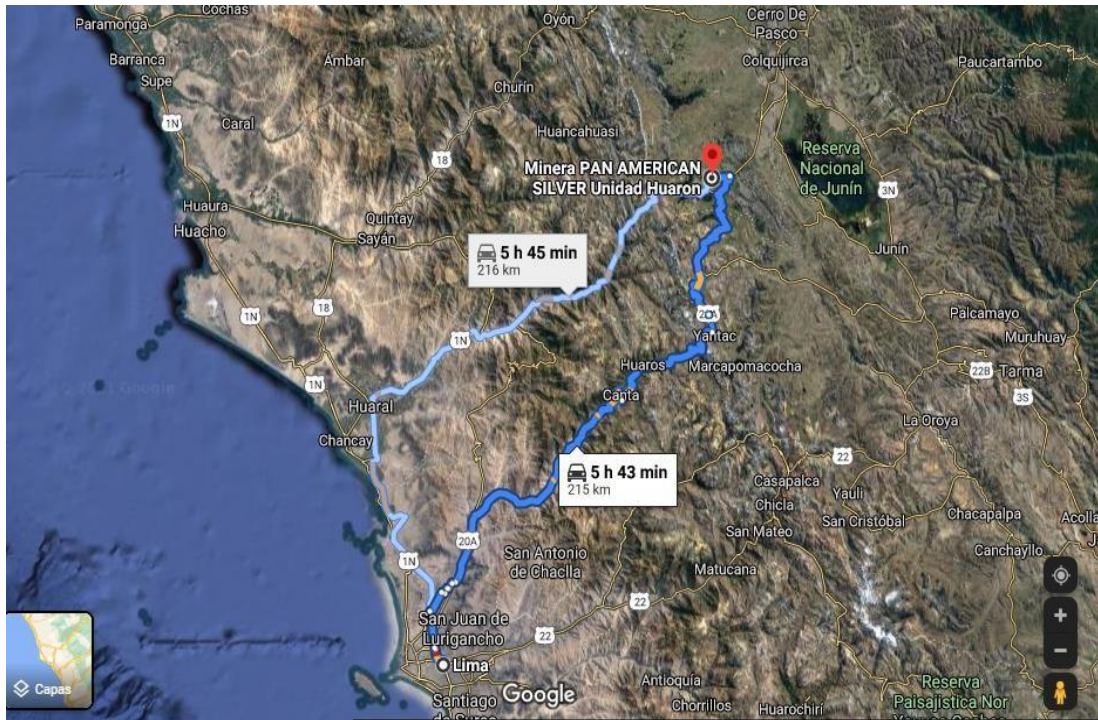
Latitud: 11° 00' 15 " S

Longitud: 76° 25' 10" W



**Figura 1. Ubicación geográfica de la unidad minera Huarón**  
Tomada del Departamento de Geología de la unidad minera Huarón





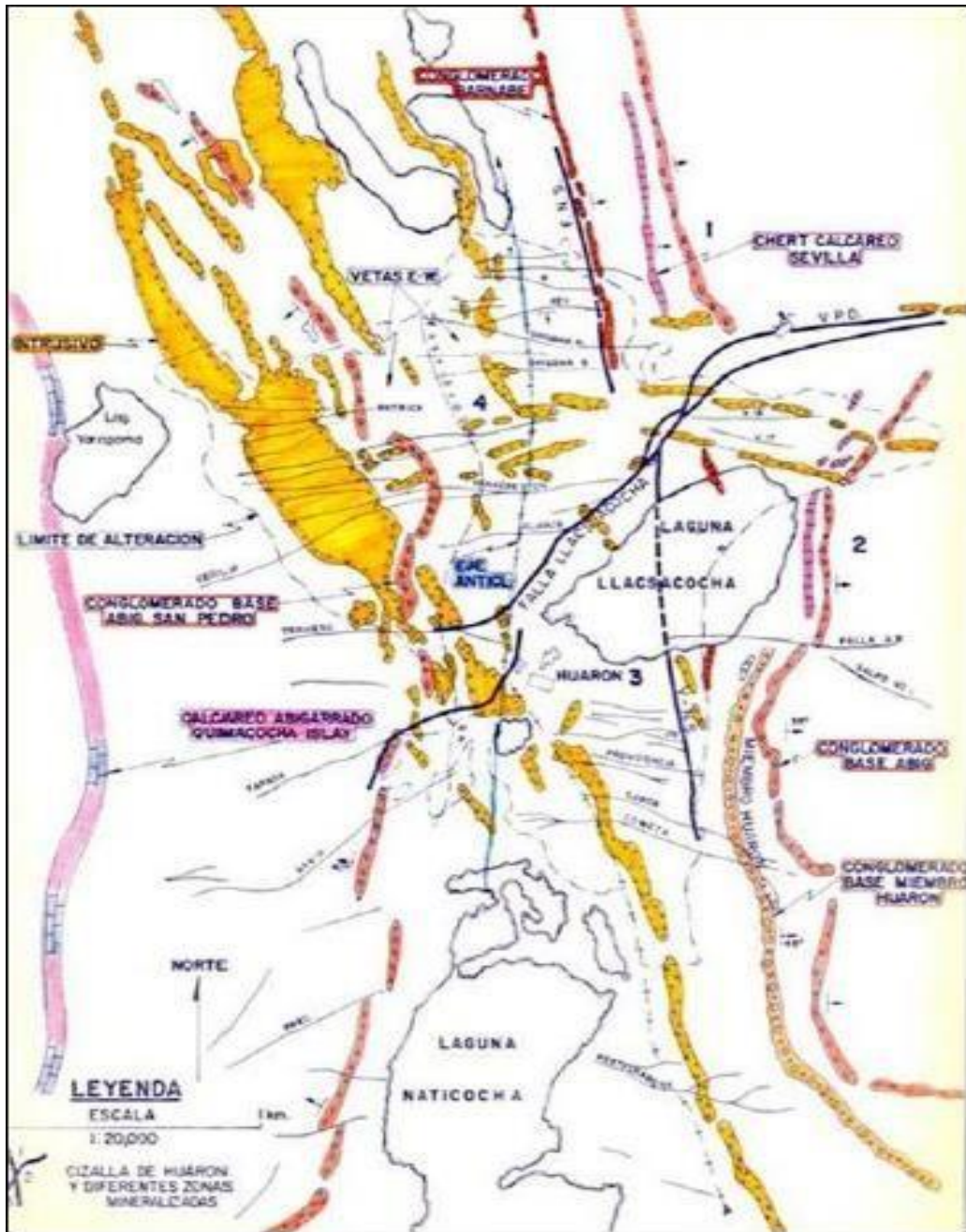
Tramo 1	Distancia	Tramo 2	Distancia
Lima - Huaral	76 km	Lima - la oroya	183 km
Huaral – Huarón	134 km	La Oroya - Huarón	47 km
TOTAL:	210 km	TOTAL	230 km

**Figura 2. Accesibilidad a la unidad minera Huarón**

**2.2.2 Geología**

**a) Geología regional**

La mina Huarón se encuentra en la cordillera de los Andes. Asociada a rocas cretácicas del grupo Machay, compuesta por calizas y rocas volcánicas del terciario de la formación Calipuy (6).



**Figura 3. Plano de la geología regional**  
**Tomada del Departamento de Geología de la unidad minera Huarón**

**b) Geología local**

Asociada principalmente a la formación Casapalca, compuesta por una secuencia continental que incluye areniscas, calizas, mármoles, brechas interestratificadas del Cretácico superior y rocas del Terciario Inferior asociadas a la formación Calipuy compuesta una secuencia de andesitas hacia el oeste de la mina (7).

La estructura principal está asociado a la presencia de anticlinales de dirección EW.

### c) Geología estructural

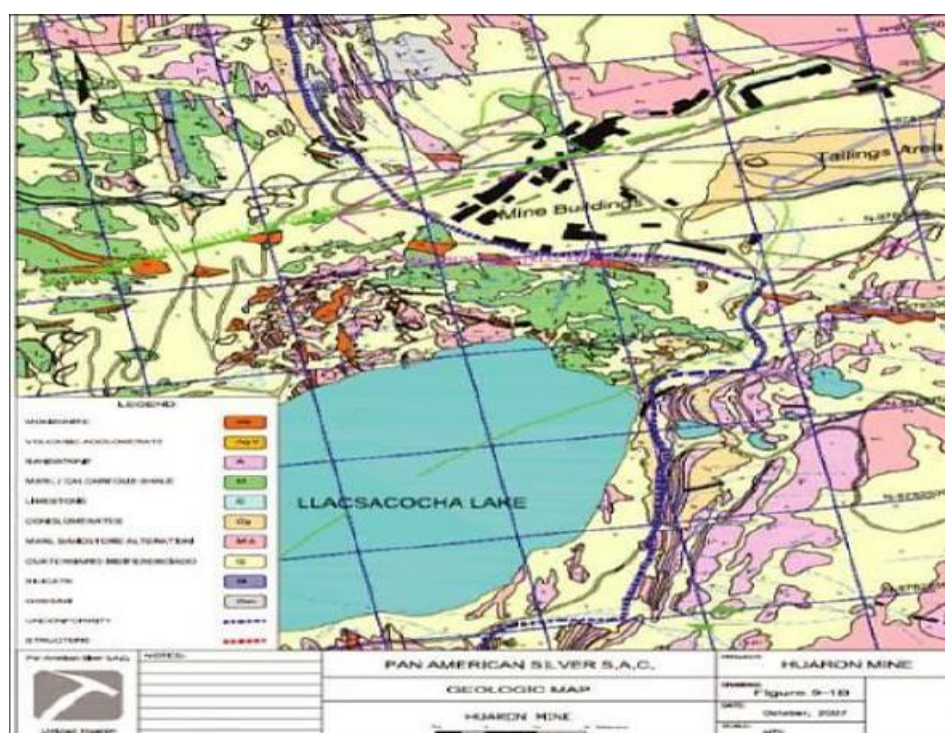
- **Plegamientos**

Asociados principalmente a la orogenia incaica presente durante el Paleógeno para luego generar deformaciones adicionales durante la orogenia Quechua, afectando directamente a la formación Calipuy.

Las litologías que fueron afectadas por la orogénesis presente, siendo el plegamiento de la formación Casapalca formando anticlinales y la deformación del grupo Calipuy formando sinclinales.

- **Fallas**

Asociadas principalmente a las fallas Tapada y Shiusha, asimismo, el tectonismo asociado al área del yacimiento formaron fallas tensionales, los que formaron las diferentes estructuras.



**Figura 4. Sistema de fallas unidad minera Huarón**  
**Tomada del Departamento de Geología de la unidad minera Huarón**

#### **d) Mineralización**

La mineralización está compuesta principalmente con tetraedrita-tenantita, marmatita, esfalerita, calcopirita-enargita y galena. Los minerales relacionados con la ganga incluyen manganocalcita, alabandita, rodocrosita, rodonita, cuarzo y pirita.

El depósito de mineralización tiene tres etapas distintas: las temperaturas altas incluyen cuarzo liso, pirita, tetraedrita y esfalerita de color terroso; las temperaturas medias incluyen cuarzo liso, pirita, esfalerita y galena de color terroso; y las temperaturas bajas incluyen polibasita, calcopirita, rodocrosita, cuarzo, calcita y siderita. La mineralización de la unidad minera Huarón se data del Plioceno (7).

Huarón tiene tres tipos de estructuras diferentes: vetas, mantos y cuerpos (7).

- Las vetas, incluyen incluso diseños en grietas por tensión o fisuras de presión. Su fuerza oscila entre centímetros y diez metros (7).
- Los mantos, se encuentran en el flanco oeste del anticlinal y son estructuras de baja inmersión (7).
- Los cuerpos, se encuentran en la intersección de las vetas, se presentan como stockworks, así como en las intersecciones de vetas con capas de arenisca calcárea (7).

#### **e) Alteración hidrotermal**

La alteración hidrotermal está compuesta por: sericitización y silicificación al contacto de las estructuras mineralizadas y cloritización, epidotización y propilitización alejadas a las estructuras (7).

#### **f) Controles de mineralización**

Los controles de mineralización son: estructural y litológica (7).

### **2.3 Bases teóricas**

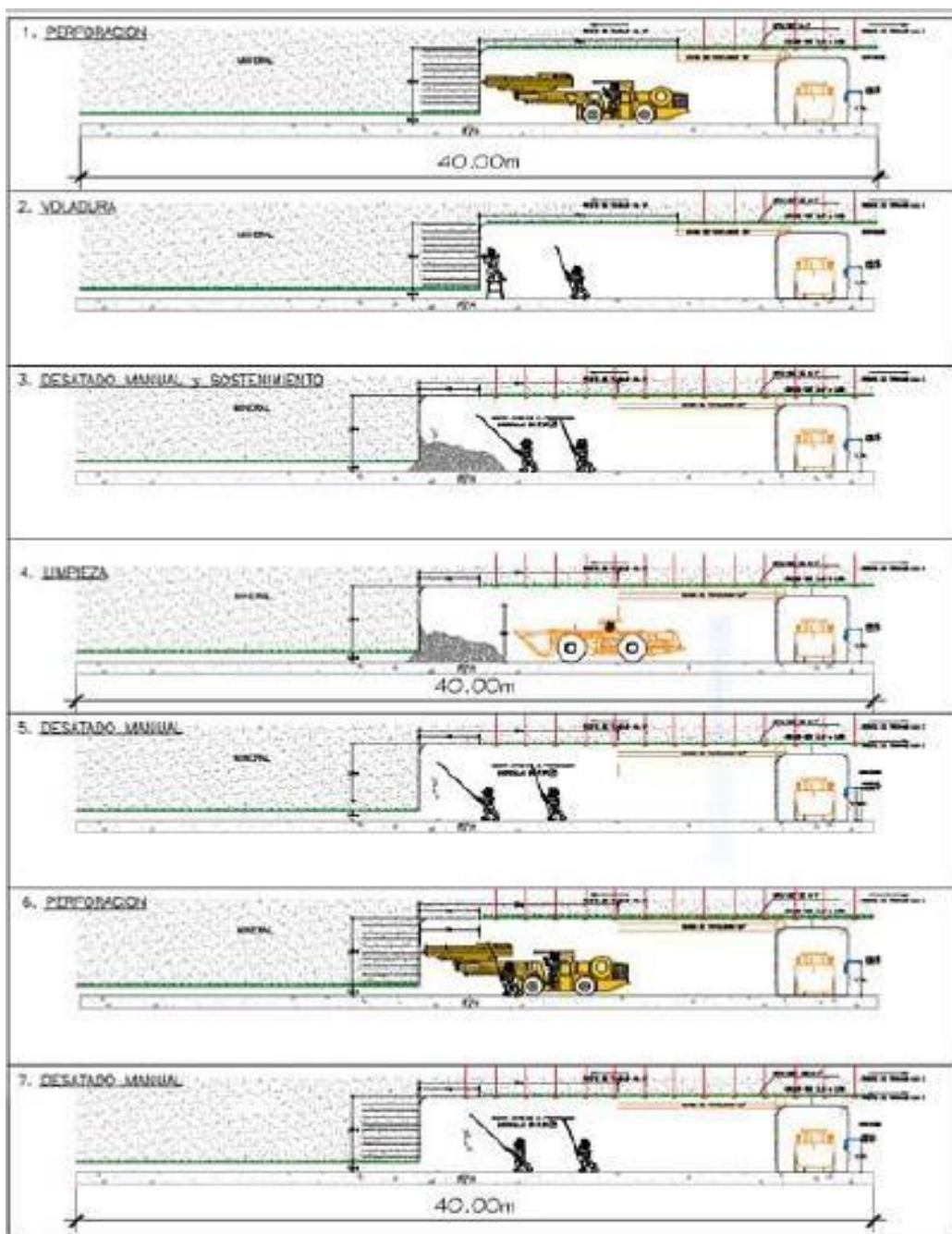
#### **2.3.1 Métodos de explotación utilizados en la unidad minera Huarón**

##### **a) Corte y relleno**

En este método de minado, el mineral explotado es extraído totalmente del tajeo una vez realizado la voladura en el frente de trabajo, el volumen extraído es

rellenado con material estéril no valiosa para ayudar a las cajas, generando una plataforma para la siguiente rebanada.

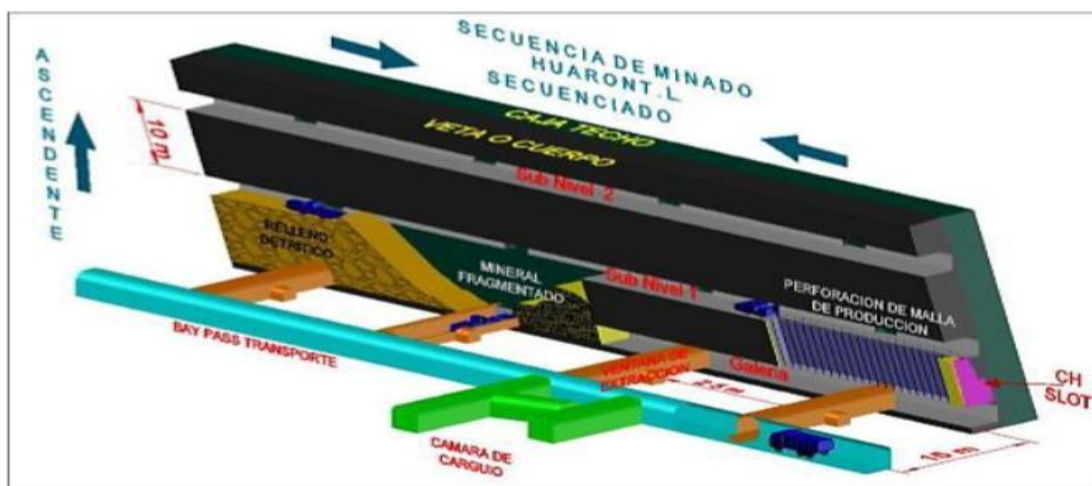
El relleno detrítico (80 %) utilizado es proveniente de los diferentes frentes de avance, los cuales son acarreados con scoops a los diferentes tajos minados para luego adicionar relleno hidráulico (20%).



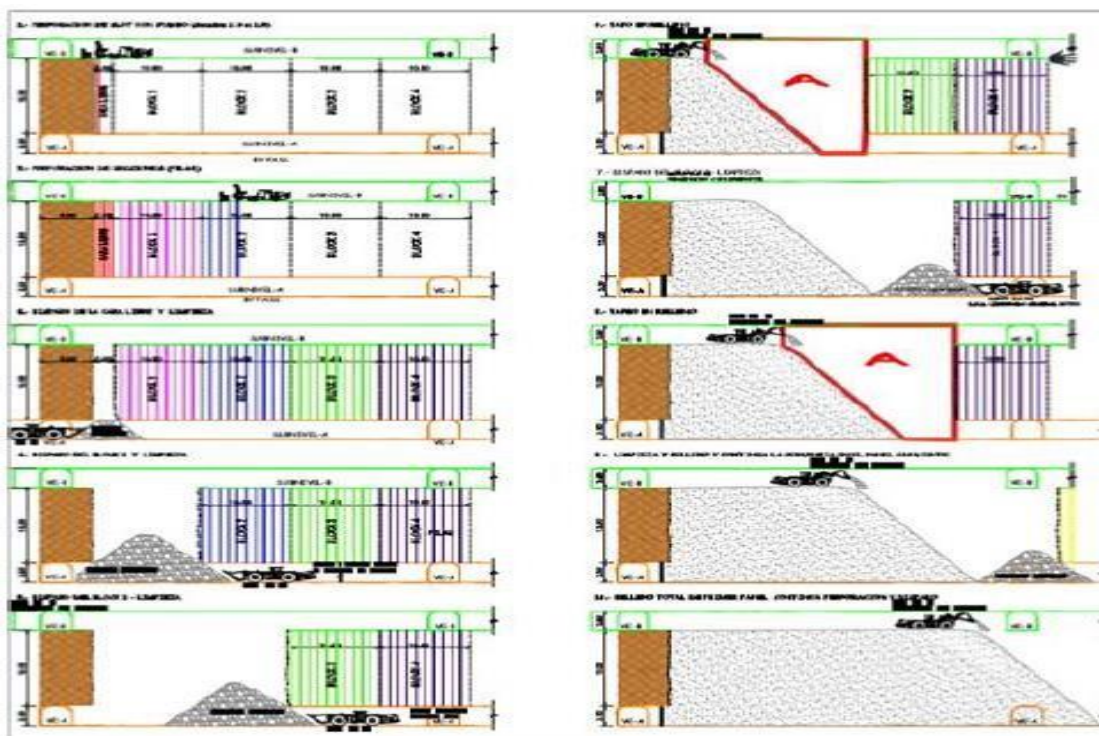
**Figura N. 5: Secuencia de minado corte y relleno ascendente  
Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón**

## b) Taladros largos

La aplicación del método de minado con taladros largos, considera a potencias mayores a 3 metros, con calidad de roca 3B – 5A. El método de minado, denominado AVOCA, es una variante del método de minado corte y relleno., considera recuperaciones hasta el 90% y diluciones del 2%.



**Figura 6. Diseño de taladros largos**  
Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón



**Figura 7. Diseño de secuencia de minado taladros largos**  
Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón

### **2.3.2 Tipos y diseño de labores mineras**

Las labores mineras que se están llevando a cabo para las operaciones consisten en secciones de 3.8 m x 4.0 m (subniveles), 4.0 m x 4.0 m (accesos) y 4.5 m x 4.5 m (rampas), En labores de avances, el porcentaje máximo de sobre rotura debe ser del 10 % (8).

#### **a) Rampa de entrada**

La sección de la rampa de acceso es de 4,5 metros por 4,5 metros con un gradiente positivo del +13 %. La tarea se lleva a cabo en diferentes niveles, y se instalarán cámaras peatonales cada 50 metros en línea recta y en curva (8).

#### **b) Rampa de acceso**

Con sección de 4.5 x 4.0 m, con 13 % de gradiente positiva.

#### **c) Bypass**

Con secciones de 4.5 x 4.5 m, con 1 % de gradiente, paralelas a la estructura mineralizadas.

#### **d) Accesos**

Con secciones de 4.0 x 4.0 m, con 13 % de gradiente positiva o negativa.

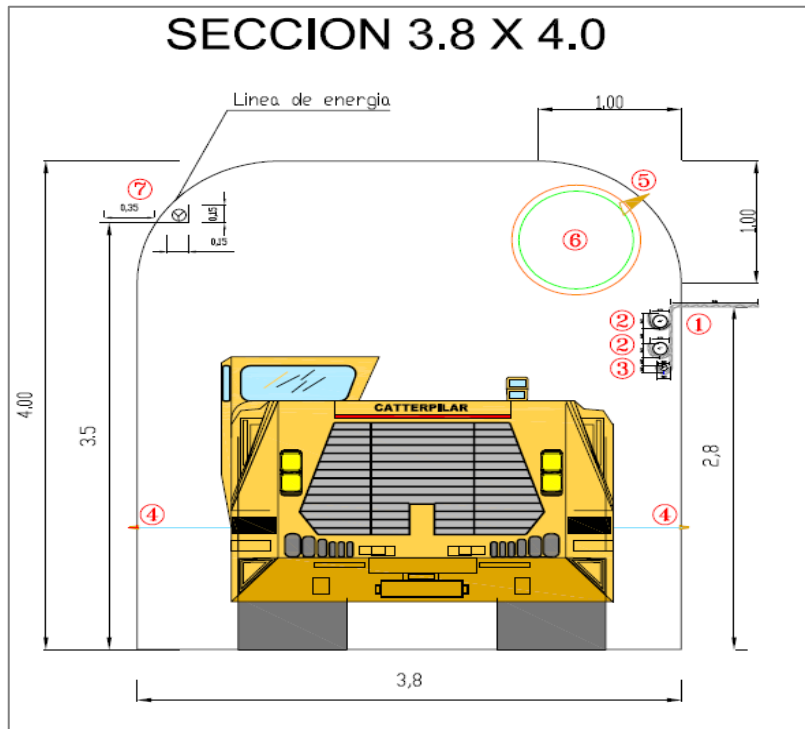
#### **e) Chimeneas slot:**

Con secciones de 1.5 x 1.5 m, para generar cara libre en taladros largos.

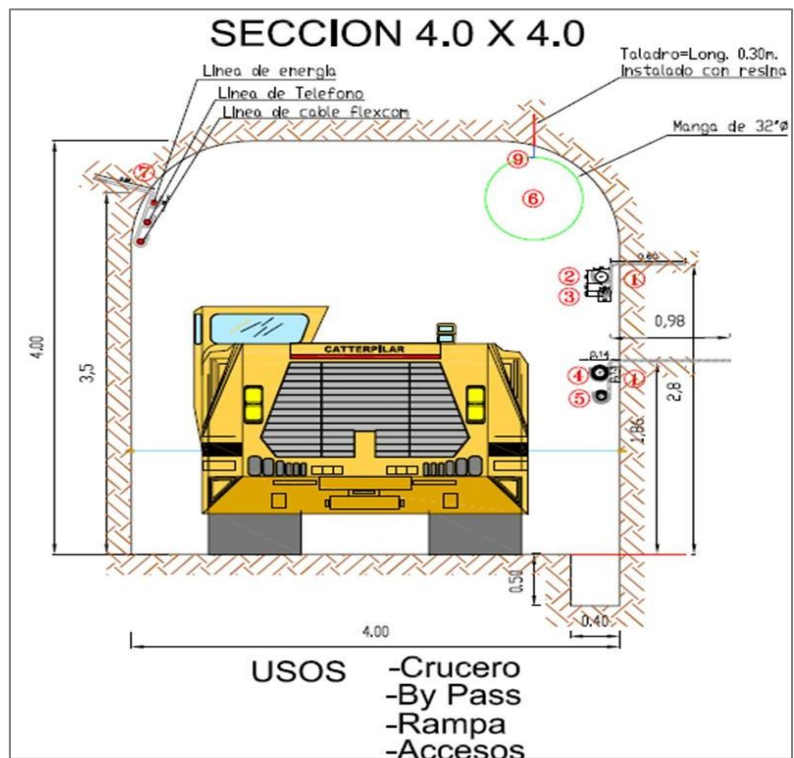
#### **f) Galería y Subnivel**

Con secciones de 3.8 x 4.0 m, con gradiente de 1 %, desarrolladas sobre estructura.

#### **g) Secciones típicas**

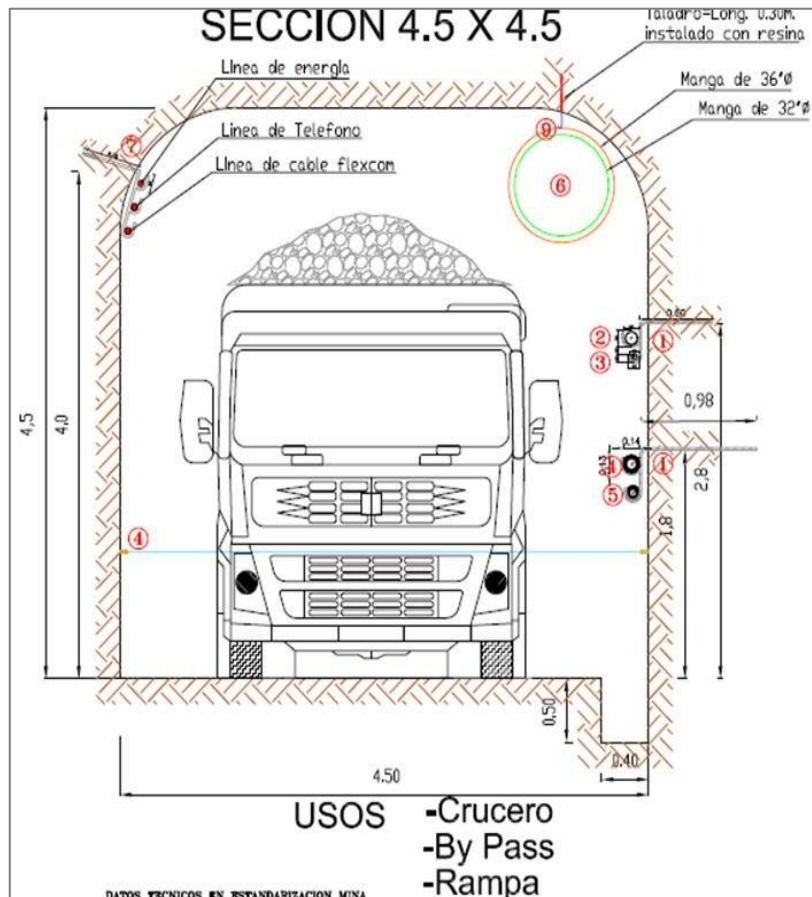


**Figura 8. Dimensionamiento del equipo con la sección Típica 3.8 x 4.0 Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón**



**Figura 9. Dimensionamiento del equipo con la sección típica 4.0 x 4.0 Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón**





**Figura 10. Dimensionamiento del equipo con la sección típica 4.5 x 4.5 Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón**

### 2.3.3 Ciclo de minado unidad minera Huarón.

El ciclo de minado está asociado a las siguientes actividades:

#### a) Perforación

La perforación se realiza con jumbos EH de 1 y 2 brazos y simbas EH, para las perforaciones con taladros largos, con un rendimiento de 90 m/día.

#### b) Voladura

Se utilizan emulsiones (cartuchos) de diferentes características de 1 1/2" x 8" y densidad de 1.12 gr/cm<sup>3</sup>. Los accesorios de voladura consideran: cordón detonante de 5', detonador no eléctrico de 18.0 m, ret.25 ms, y mecha rápida.

#### c) Desatado

El desatado de rocas en el techo y los hastiales se realizan con los scaler, previo a la perforación.

#### **d) Sostenimiento**

El sostenimiento es de acuerdo a las diferentes calidades del macizo rocoso considerando el sostenimiento primario con shotcrete + malla y perno, utilizando los equipos bolter.

#### **e) Limpieza de mineral y desmonte**

Se utiliza scoops de 4.2 y 6.0 yd<sup>3</sup> para la limpieza de mineral y desmonte de los diferentes frentes de desarrollo, preparación y explotación, y acarreados a las diferentes cámaras. Los rendimientos para scoops de 4.2 yd<sup>3</sup> es de 101.58 t/h.

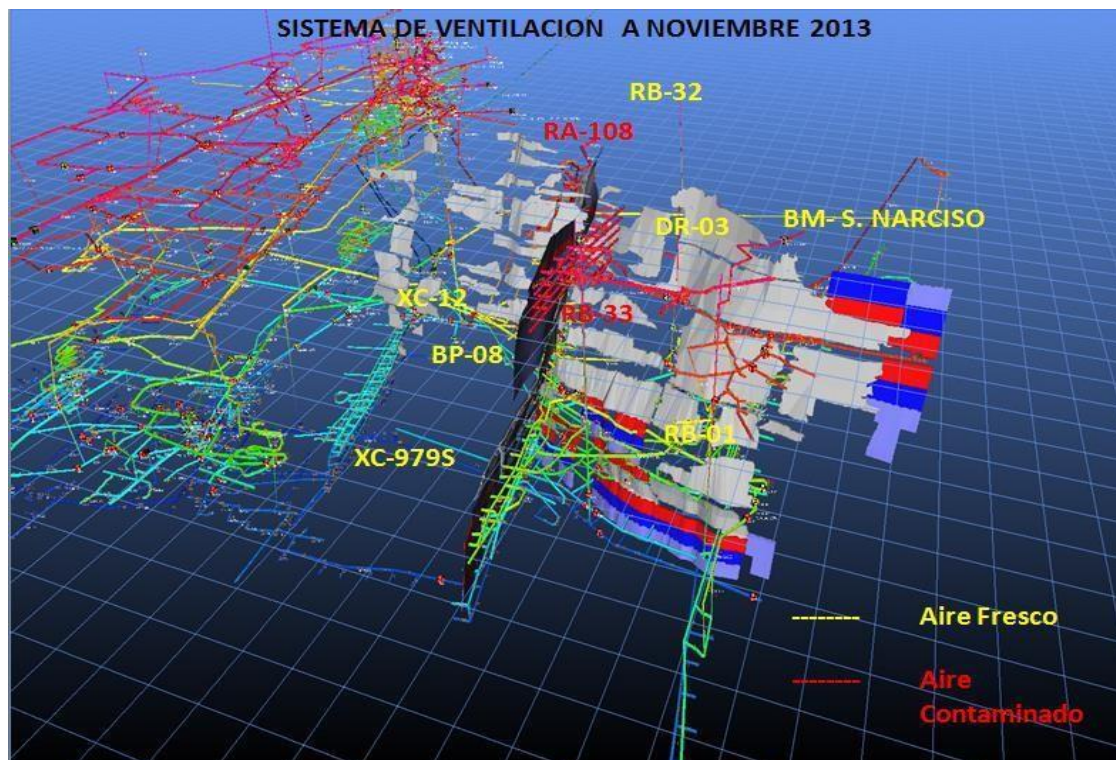
El desmonte se transporta a cámaras de acumulación por dos camiones de bajo perfil de 20 toneladas.

#### **f) Extracción de mineral**

La extracción de mineral se realiza con volquetes de 9 m<sup>3</sup> desde los puntos de carguío hacia los *ore pass*. Está compuesta por una flota de 9 unidades, los que transportan mineral hacia la planta Victoria, con una distancia total de 5 km.

### **2.3.4 Ventilación**

Se asignaron estaciones de control de ventilación según la importancia de la distribución de los flujos de aire circulantes, la ubicación de las operaciones, las áreas con gases, las áreas con alta recirculación de aire y otros factores. La bocamina Victoria, Nv 820, RP 387, el pique Huaripampa y el pique principal de menor cuantía son los principales ingresos de aire fresco (9).



**Figura 9. Diseño de la ventilación unidad minera Huarón**  
**Tomada del Departamento de Ventilación mina de la unidad minera Huarón**

## 2.4 Plan de minado de largo plazo de la unidad minera Huarón

La unidad minera Huarón cuenta con un plan de producción a largo plazo del periodo 2020 al 2024 con un total de 6' 507, 500 toneladas, la producción programada para el año 2021 es de 1 149 750 toneladas los cuales consideran los métodos de minado las variantes consideradas *sublevel stoping* en su variante *bench and fill* y *breasting*, también llamado taladros largos (9).

**Tabla 2. Producción de mineral a largo plazo por método de minado, unidad minera Huarón**

**PLAN PRODUCCIÓN LARGO PLAZO**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2020	86,800	78,400	86,800	84,000	86,800	84,000	86,800	86,800	84,000	86,800	84,000	86,800	1,022,000
2021	97,650	88,200	97,650	94,500	97,650	94,500	97,650	97,650	94,500	97,650	94,500	97,650	1,149,750
2022	110,050	99,400	110,050	106,500	110,050	106,500	110,050	110,050	106,500	110,050	106,500	110,050	1,295,750
2023	124,000	112,000	124,000	120,000	124,000	120,000	124,000	124,000	120,000	124,000	120,000	124,000	1,460,000
2024	134,000	122,000	134,000	130,000	134,000	130,000	134,000	134,000	130,000	134,000	130,000	134,000	1,580,000
<b>total</b>	<b>552,500</b>	<b>500,000</b>	<b>552,500</b>	<b>535,000</b>	<b>552,500</b>	<b>535,000</b>	<b>552,500</b>	<b>552,500</b>	<b>535,000</b>	<b>552,500</b>	<b>535,000</b>	<b>552,500</b>	<b>6,507,500</b>

POR MÉTODO DE MINADO

**PLAN PRODUCCIÓN 2019 - 2020**

AÑO	MINADO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2019	TL BR AV	61,287	55,356	61,287	59,310	61,287	59,310	61,287	61,287	59,310	61,287	59,310	61,287	721,605	
		10,623	9,595	10,623	10,280	10,623	10,280	10,623	10,623	10,280	10,623	10,623	10,280	10,623	125,078
		9,806	8,857	9,806	9,490	9,806	9,490	9,806	9,806	9,490	9,806	9,806	9,490	9,806	115,457
2020	TL BR AV	65,100	58,800	65,100	63,000	65,100	63,000	65,100	65,100	63,000	65,100	63,000	65,100	766,500	
		11,284	10,192	11,284	10,920	11,284	10,920	11,284	11,284	10,920	11,284	10,920	11,284	11,284	132,860
		10,416	9,408	10,416	10,080	10,416	10,080	10,416	10,416	10,080	10,416	10,416	10,080	10,416	122,640

*Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón*

## **2.4.1 Labores de preparación, desarrollo y explotación de la unidad minera Huarón**

Los trabajos de profundización están considerados para una sección de 4.00 m x 4.50 m y 4.00 m x 4.00 m con sus respectivas cámaras de carguío, poza de bombeo y SS. EE (9).

- Zona norte: rampa RA857 (-) para preparar las estructuras siguientes: veta, Travesía, ramal y veta Santo Tomás, veta Roxana, ramal RA824 (-) para la preparación de la veta número cuatro. San José ramal, veta Teresa ramal 4 Fastidiosa; RA251 (-) para preparar veta Lacsacocha y hoja Lacsacocha sur; RA978 (-) para la preparación de la veta, farallón. Ramal 4 y veta de infestación Margarita ramal; RA890 (-) para la preparación de la veta El Pozo D cuenta con ramas norte y sur (9).
- Zona sur: rampa RA871 (-) para preparar las siguientes estructuras de veta y tapa Juanita; RA943 (-) para preparar la veta. Para preparar la veta, Gavia; RA922 Ramal Provisión, veta Mariana y la veta Trabajo (9).
- Para preparar las siguientes estructuras de veta, se debe utilizar la zona norte 500 y la RA10 (+). fabricante ramal, veta y Constancia acuerdo (9).

Además, se ha considerado la creación de subniveles y ventanas a través del proceso de explotación mediante el uso de taladros largos (9).

En la siguiente figura se muestra el programa de los trabajos efectuados de avance del año 2017 al año 2020 de la unidad minera Huarón.

**Tabla 3. Programa anual de avances del Año 2017 al 2020 de la unidad minera Huarón**  
PROGRAMA ANUAL DE AVANCES DEL AÑO 2017 AL 2020

ETAPA – 2,017	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>DESARROLLO</b>	915	915	915	915	915	960	870	895	935	960	870	895	10,980
<b>EXPLOTACION</b>	978	978	978	978	978	1,023	933	958	998	1,023	933	958	11,740
<b>PREPARACION</b>	365	365	365	365	365	410	320	345	385	410	320	345	4,384
<b>TOTAL</b>	<b>2,259</b>	<b>2,259</b>	<b>2,259</b>	<b>2,259</b>	<b>2,259</b>	<b>2,394</b>	<b>2,124</b>	<b>2,199</b>	<b>2,319</b>	<b>2,394</b>	<b>2,124</b>	<b>2,199</b>	<b>27,104</b>

ETAPA – 2,018	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>DESARROLLO</b>	938	360	375	350	645	615	540	505	535	545	530	570	11,260
<b>EXPLOTACION</b>	840	1,095	1,215	1,135	600	656	575	575	550	510	540	535	10,080
<b>PREPARACION</b>	392	460	210	340	330	325	520	587	590	535	540	590	4,706
<b>TOTAL</b>	<b>2,171</b>	<b>1,915</b>	<b>1,800</b>	<b>1,825</b>	<b>1,575</b>	<b>1,596</b>	<b>1,635</b>	<b>1,667</b>	<b>1,675</b>	<b>1,590</b>	<b>1,610</b>	<b>1,695</b>	<b>26,046</b>

ETAPA – 2,019	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>DESARROLLO</b>	860	860	860	860	860	905	815	840	880	905	815	840	10,320
<b>EXPLOTACION</b>	978	978	978	978	978	1,023	933	958	998	1,023	933	958	11,740
<b>PREPARACION</b>	175	175	175	175	175	220	130	155	195	220	130	155	2,100
<b>TOTAL</b>	<b>2,013</b>	<b>2,013</b>	<b>2,013</b>	<b>2,013</b>	<b>2,013</b>	<b>2,148</b>	<b>1,878</b>	<b>1,953</b>	<b>2,073</b>	<b>2,148</b>	<b>1,878</b>	<b>1,953</b>	<b>24,160</b>

ETAPA – 2,020	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
<b>DESARROLLO</b>	996	996	996	996	996	1,041	951	976	1,016	1,041	951	976	11,955
<b>EXPLOTACION</b>	1,048	1,048	1,048	1,048	1,048	1,093	1,003	1,028	1,068	1,093	1,003	1,028	12,575
<b>PREPARACION</b>	532	532	532	532	532	577	487	512	552	577	487	512	6,384
<b>TOTAL</b>	<b>2,576</b>	<b>2,576</b>	<b>2,576</b>	<b>2,576</b>	<b>2,576</b>	<b>2,711</b>	<b>2,441</b>	<b>2,516</b>	<b>2,636</b>	<b>2,711</b>	<b>2,441</b>	<b>2,516</b>	<b>30,914</b>

*Tomada del Departamento de Planeamiento PAS de la unidad minera Huarón*

## 2.4.2 Criterios para la evaluación técnica y económica de un frente de avance modelo.

En todo análisis de frentes de avance se debe evaluar en primer lugar el equipo de perforación, el tipo de obra (rampa, frente, etc.), la sección de la labor, la densidad de la roca (calificación geomecánica), la longitud de barra de perforación y eficiencia de perforación, para calcular los siguientes datos:

- ✓ Volumen que romper ( $m^3$ )
- ✓ Sección real ( $m^2$ )
- ✓ Tonelaje roto (t)
- ✓ Longitud efectiva de perforación (m)
- ✓ Avance logrado (m)
- ✓ Numero de taladros (cantidad de taladros perforados)

Para el análisis de costos se tiene que ver los explosivos a utilizar para el diseño de malla propuesto o dimensionado por la compañía minera para calcular lo siguiente:

- ✓ Total, de explosivo a usar (kg)
- ✓ Factor de carga por taladro (kg/tal)
- ✓ Factor de carga por lineal (kg/m)
- ✓ Factor de carga por tonelada (kg/t)
- ✓ Factor de carga ( $kg/m^3$ )
- ✓ Longitud total de perforación (m)
- ✓ Ratio de perforación ( $m/m^3$ ), (pie/t)
- ✓ Eficiencia en tareas (tareas/m), (tareas/t)

Una vez obtenido estos datos se procede a calcular los costos del ítem siguiente:

- ✓ Costo de mano de obra (\$/m), (\$/t)
- ✓ Costo de implementos de seguridad (\$/m), (\$/t)
- ✓ Costo de perforación (\$/m), (\$/ton)
- ✓ Costo horario del equipo de perforación (\$/m), (\$/t)
- ✓ Costo horario del equipo de Scooptram (\$/m), (\$/t)
- ✓ Costo total por metro de avance (\$/m)
- ✓ Costo total por tonelada rota (\$/t)

En la siguiente tabla se muestra el diseño de la evaluación técnica y económica de los frentes de avance.

**Tabla 4. Diseño de la evaluación técnica y económica de los frentes de avance**

INFORME TECNICO DE PRUEBAS DE DISEÑO								
Equipo	:	JUMBO						
Obra	:	Rampa						
Ancho	:	3.5	m					
Alto	:	3	m					
Densidad de material	:	2.7	t/m <sup>3</sup>					
Sección	:	9.45	m <sup>2</sup>					
Volumen	:	27.36	m <sup>3</sup>					
Tonelada	:	73.88	t					
Rota	:							
Long. 12	:	3.7	m					
Barra	:							
Long. 10	:	3.0	m					
Perforada	:							
Avance Logrado	:	2.9	m					
Número total de taladros	:	32	Taladros	<b>Análisis de Costos</b>				
Explosivo usado 11/2*12	:	29	kg		\$/m	\$/t		
Explosivo usado 7/8*7	:	3	kg	Costo de mano de obra	:	12	0.49	
Total de expl. usado	:	32	kg	Costo de implementos	:	3	0.13	
Factor carga por taladro	:	1.0	kg/Tal	Costo de voladura	:	28	1.1	
Factor carga por lineal	:	11	kg/m	costo de perforación	:	7	3.4	
Factor carga por tonelada	:	0.43	kg/t	Costo Scooptram	:	53	2.1	
Factor de carga	:	1.2	kg/m <sup>3</sup>	Costo de Jumbo	:	43	1.7	
Longitud total perforada	:	117	m	Costo total por m	:	147	\$/m	
Ratio de Perforación	:	3.6	m/m <sup>3</sup>	Costo total por t	:	9	\$/t	
Ratio de Perforación	:	4.3	Pie/t					
Eficiencia en tareas	:	0.6	Tareas/m					
Eficiencia en tareas	:	0.022	Tareas/t					
GEOMETRIA DE DISEÑO DE MALLA								
Número de taladros	Burden Bp (m)	Esp. (m)	Número de taladros sin carga	Número de taladros con carga	Kg/m	Explosivo kg	Total kg	
EXPANSIÓN			4	0	0.0	0	0.00	
ALIVIO	0	*	3	0	0.00	0	0.00	
Crack	0.15	0.42	0	1	0.65	4	4.00	
ARRANQUE	0.42	1	*	3	1.00	6	18.00	
AYUDA	0.65	1.62	*	3	0.82	5	15.00	
ARRANQUE *	0	0	0	0	0.66	0	0.00	
ARRASTRE	1	1	*	5	0.63	4	20.00	
AYUDA DE	0	0	0	0	0.00	0	0.00	
ARRASTRE	0.7	1	*	2	0.54	4	8.00	
AYUDA DE PAREDES	1	1	*	2	0.52	3	6.00	
PAREDES	0.5	1	*	4	0.50	3	12.00	
AYUDA CORONA	0.5	1	*	4	0.50	3	12.00	
CORONA	<b>0.5</b>	<b>1</b>	*	<b>5</b>	<b>0.30</b>	<b>7</b>	<b>35.00</b>	
TOTAL			7	25	0.55	36	118	



De acuerdo a los parámetros técnicos y económicos programados en labores de desarrollo con secciones de 3.5 x 3.0, con longitudes de barra de 12' y densidades de 2.7 t/m<sup>3</sup>, considera costos unitarios de perforación en 7 \$/m, scoops con 53 \$/m, jumbo de 43 \$/m y un costo total de 147 \$/m o 9 \$/t.

El total de taladros perforados considera 25 taladros con carga y 7 taladros sin carga, considera un total de 118 kilogramos de explosivo en secciones de 3.5 x 3.0.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del factor por beneficios sociales, para el cálculo de la mano de obra.

**Tabla 5. Cálculo del factor por beneficios sociales - mano de obra.**

Factor por beneficios sociales		Días trabajos	Días pagados	% de una tarea/día	
Beneficios Sociales	Dominicales	Por 6 días de trabajo al a semana se pagan 7, el domingo no es laborable	6	1	16.7
	Feriados por año	Días no laborables y pagados, 11 días repartidos en 1 año.	300	11	3.7
	Gratificaciones	2 gratificaciones por año, c/u de un salario mensual	300	60	20.0
	Tiempo servicio	Por cada año un salario mensual	300	30	10.0
	Faltas justificadas	Faltas por 6 días (enfermedades no profesionales)	300	6	2.0
	Vacaciones	30 tareas pagadas por año	300	30	10.0
	Subtotal beneficios sociales				62.3
Leyes Sociales	D.L 22482	Aportaciones patronales al Estado impuestos a las planillas			6
	D.L 19990	Aportaciones patronales al Estado impuestos a las planillas			13
	Accid. de trab.	cubren todo el gasto de Obreros empleados			2.6
	Subtotal leyes sociales				21.6
Total, Leyes y Beneficios Sociales				84	

En la siguiente tabla se muestra el costo de los implementos de seguridad en minería subterránea.

**Tabla 6. Costos de implementos de seguridad**

ITEM	UNIDAD	Precios (US\$)	Vida útil (días)	Costo/H-Gdia
Casco protector	1pza	12.67	360	0.035
Botas de jebe	2pza	14.29	90	0.159
Guantes de cuero	2pza	4.29	30	0.143
Correa portalámparas	1pza	2.57	360	0.007
Saco de jebe	1pza	21.44	180	0.119
Pantalón de jebe	1pza	18.61	180	0.103
Mameluco Denine 14 Oz	1pza	24.4	180	0.136
Lámpara batería	1pza	320	900	0.356
Tapón de oído	2pza	1.21	60	0.020
Respirador	1pza	14.03	180	0.078
Filtro de respirador	1pza	0.2	1	0.200
Tafilite casco	1pza	3.67	90	0.041
Lentes perforación	1pza	6.79	60	0.113
Guantes de Neoprene	2pza	5.54	60	0.0923
TOTAL (US\$/Hombre-Guardia)				1.6

En la siguiente tabla se muestra el costo de mano de obra mina.

**Tabla 7. Costo de mano de obra mina**

Costos mano de obra - mina						
PERSONAL	JORNALES \$/tarea	SUELDO \$/tarea	Horas de Trabajo	Hr./Guardia	INCIDENCIA %	Sub. Total US \$
Operador Jumbero	13	0.0	3.07	12	25.58	3.29
Ayudante Jumbero	10	0.0	3.07	12	25.58	2.52
Operador LHD	10.3	0.0	1.5	12	12.50	1.29
Ayudante LHD	10	0.0	1.5	12	12.50	1.23
Operador de carguío	10	0.0	1	12	8.33	0.81
Topógrafo	0	11.8	1	12	8.33	0.98
Ayudante Topógrafo	0	0.0	1	12	8.33	0.00
Ing. Residente	0	50.0	0.5	12	4.17	2.08
Ing. Guardia	0	36.2	0.5	12	4.17	1.51
Capataz	0	11.8	1	12	8.33	0.98
Sub total de costo de mano de obra						14.7
Beneficios sociales 84%						12.3
Traslado Vivienda y alimentación						1.5
<b>COSTO \$</b>						<b>28.5</b>

En la siguiente tabla se muestra el costo de las herramientas y accesorios de perforación.

**Tabla 8. Herramientas y accesorios de perforación**

ÍTEM	UNIDAD	Precios (US\$)	Vida útil (Pies)	Costo/H-Gdia
Llave de 14"		30	150	0.200
Barretilla (2)		10	150	0.067
Pico		15	90	0.167
Lampa		18	45	0.400
Atacador (2)		1	25	0.040
Shangreador		5	90	0.056
Soplete		15	300	0.050
Comba		8	300	0.027
Saca barrenos		10	150	0.067
Punzón para cebar		5	150	0.033
Aceite de perforación	gl	3.80		0.02
Manguera de 1"	m	4.60		0.003
Manguera de 1/2"	m	2.40		0.002
Conexiones		5.00		0.001
Otros				0.002
TOTAL (US \$/Guardia)				1.134

En la siguiente tabla se muestra el costo de acero de perforación

**Tabla 9. Costo de acero de perforación**

ÍTEM	UNIDAD	Precios (US\$)	Vida útil (Pie)	Vida útil (Mt)	Costo Unit. \$/pp	Costo Unit. \$/mp
Barra perforación MF 14'	pie	350.0	12,000.0	3658	0.029	0.096
Barra perforación MF 12'	pie	150.0	10,000.0	3048	0.015	0.049
Broca R32 x 51mm	pie	57.0	4,317.0	1316	0.013	0.043
Broca R32 x 45mm	pie	63.3	3,500.0	1067	0.018	0.059
Shank Adapter R38	pie	135.0	13,123.0	4000	0.010	0.034
Copla R38	pie	33.0	4,921.0	1500	0.007	0.022
Rimadora de 2 1/2"	pie	121.2	1,500.0	457	0.081	0.265
Rimadora de 89mm	pie	183.0	1,640.0	500	0.112	0.366
Adapter piloto	pie	175.0	1,640.0	500	0.107	0.350
Copas de afilado	pie	110.0	25,000.0	7620	0.004	0.014
Aguzadora de copas	pie	1600.0	280,000	85344	0.006	0.019
Barrenos integrales 8'	pie	78.0	1,000.0	305	0.078	0.256
Barrenos integrales 6'	pie	69.6	1,000.0	305	0.070	0.228
Barrenos integrales 4'	pie	62.8	1,200.0	366	0.052	0.172
Mangas de Ventilación 24"	ml	1.0	1.0	0	1.000	3.281
Cancamos	Unidad	1.0	1.0	0	1.000	3.281
Mangueras de 2" (100 m)	ml	8.0	6.0	2	1.333	4.374
Mangueras de 1" (100 m)	ml	2.8	100.0	30	0.028	0.091
Mangueras de 1/2" (100 m)	ml	1.5	100.0	30	0.015	0.049
Máquina perforadora Jackleg	Pp	4500.0	80,000.0	24384	0.056	0.185
Mantto Máquina	85%			0.0		

En la siguiente tabla se muestra el costo de energía

**Tabla 10. Costo de energía**

ITEM	UNIDAD	Precios (US\$)	Vida útil (días)	Costo/H-G día
Petróleo diésel	gl.	2.32		0
Aceite de transmisión hidráulica	Lt	3.80		0
Costo de energía	Kw -h	0.0405		0.0405
TOTAL (US\$/gdia)				0.0405

En la siguiente tabla se muestra el costo de los explosivos

**Tabla 11. Costo de los explosivos**

TIPO DE DINAMITA	kg/Ctr	CART/CAJA	\$/box	\$/UNI	\$/kg
Semexa 65% 1 1/2x12	0.368	68	39.75	0.585	1.59
Semexa 65% 1 1/4x8	0.184	136	39.75	0.292	1.59
Semexa 45% 7/8 x 7	0.0791	316	37.92	0.120	1.52
Semexa 65% 7/8 x 7	0.0781	320	41.3	0.129	1.65
Semexa 80 %1 1/2x8	0.25	100	48.00	0.480	1.92
Exadit 45% 7/8 x 7	0.0762	328	35.44	0.108	1.42
Exadit 60% 1 1/2 x 8	0.25	100	42.5	0.425	1.70
Gel. Especial 75% 1 1/8*8	0.174	145	80.45	0.555	3.22
Fanel blanco	0.0	0.0	0.00	1.357	0
Fanel rojo	0.0	0.0	0.00	1.357	0
TECNEL 4.2m LP y MS				1.090	0
TECNEL 3.2m LP y MS				1.070	0
TECNEL 3.0m LP y MS				1.070	0
Retardo bidimensional				1.820	0
Pentacoord 3p * mt	0.0	0.0	0.00	0.160	0
Guía * mt	0.0	0.0	0.00	0.080	0
Carmex	0.0	0.0	0.00	0.450	0
Mecha rápida * mt	0.0	0.0	0.00	0.250	0
Fulminante	0.0	0.0	0.00	0.106	0
Espaciador de carrizo 8"	0.0	0.0	0.00	0.095	0
Tablilla de 1/4*3/4*10	0.0	0.0	0.00	0.580	0
Tubo de PVC 1/2*3	0.0	0.0	0.00	0.261	0
Cinta de embalaje	0.0	0.0	0.00	0.580	0
Pintura (galón)	0.0	0.0	0.00	5.350	0

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método general o teórico de la investigación**

###### **a) Método general**

El método general que se empleó fue el analítico y deductivo. El método analítico fue utilizado en la evaluación técnica económica de los frentes de avances tanto en desarrollo o preparación, y el método deductivo: empleado en la reducción de costos por disparo por medio de un comparativo de costos reflejados en flujo de caja y análisis de sensibilidad del proyecto minero en la unidad minera Huarón.

###### **b) Método específico**

Una vez propuesta la mejora, se procederá a minimizar el costo de perforación y voladura como también el costo de limpieza por medio de un análisis comparativo de ambos costos: del antes y después, se contará con un panorama específico para la toma de decisiones óptimas para el proyecto minero

##### **3.1.2 Alcance de la investigación**

###### **a) Tipo de investigación**

Es un tipo de Investigación aplicada, porque el objetivo de la investigación es realizar la evaluación técnica económica de los frentes de avances para la reducción de costos por disparo, unidad minera Huarón.

## **b) Nivel de investigación**

Es de nivel explicativo tecnológico, ya que existe un interés en explicar una relación en la evaluación técnica económica de los frentes de avances para la reducción de costos por disparo, Unidad Minera Huarón.

### **3.2 Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es experimental.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Todos los frentes de avance en las labores de preparación y desarrollo de la unidad minera Huarón.

#### **3.3.2 Muestra**

El frente de avance de la veta Travieso del nivel 450 – Rp 4.5 x 4.0.

### **3.4 Técnicas de recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos.**

Los datos del área de operaciones de la mina, así como los reportes de perforación y voladura se recopilarán y procesarán utilizando la técnica de observación.

- **Observación:** la recolección de datos se llevará a cabo en el campo *in situ* utilizando técnicas de observación y procesamiento de datos pasados y actuales del área de seguridad, así como reportes de seguridad del área de operaciones mina.

Para la investigación se utilizarán herramientas de gestión de seguridad para realizar inspecciones y realizar controles mediante informes.

- **Recopilación:** la información de los reportes e informes de operaciones, planeamiento, seguridad por los trabajadores y supervisores que ayudarán a al



análisis y mejora de los trabajos de avances de las labores realizadas en preparación y desarrollo.

#### **3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos**

- ✓ Reportes de labores de avance
- ✓ Fichas de control
- ✓ Información de internet
- ✓ Uso de plantillas
- ✓ Otros

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Análisis operacional del estudio**

##### **4.1.1 Estudio geomecánico del macizo rocoso**

Es estudio de la estabilidad de las excavaciones se realizó con el método de Marthews (1981) que incorpora una relación entre la estabilidad del macizo rocoso y el tamaño y forma de la excavación expuesta.

En el dimensionamiento de la veta Travieso del nivel 450, TJ 640 se utilizó el método de *bench and fill*, por eso, se tiene el siguiente procedimiento para dimensionar los tajeos con los siguientes parámetros:

- ✓ Número de estabilidad (N')
- ✓ Radio hidráulico (RH)

Se debe tener en cuenta el análisis para diferentes aberturas: (ancho x largo x altura).

Para la veta Travieso del nivel 450, TJ 640 se tiene una abertura de 7m x 20 m x 21 m, en la siguiente tabla se muestra los datos de estabilidad.

Tabla 12. Datos de estabilidad en la veta Travieso

NUMERO DE ESTABILIDAD						
Superficie	RH m	MANTEO PARED N	z	Logit value p	Probabilidad estable	Condicion
Pared Frontal	2.6	7.1	3.1	0.96	86%	ESTABLE
Pared Trasera	2.6	7.1	3.1	0.96	86%	ESTABLE
Caja Piso	5.2	10.5	2.5	0.92	56%	ESTABLE
Caja techo	5.2	10.5	2.5	0.92	56%	ESTABLE
Corona	2.6	5.0	2.9	0.95	80%	ESTABLE

Tomada del Departamento de Geomecánica de la unidad minea Huarón

**Interpretación:** los resultados son números de estabilidad para la abertura mencionada, se halla dentro de la zona de estabilidad del macizo rocoso.

**a) Estudio de estabilidad mediante métodos numéricos veta Travieso**

Debido a que el método de explotación es por *bench and fill*, se realizó la simulación de la estabilidad por medio del software Phase2. Para esta simulación se realizó el corte transversal como se muestra en la siguiente figura (8).

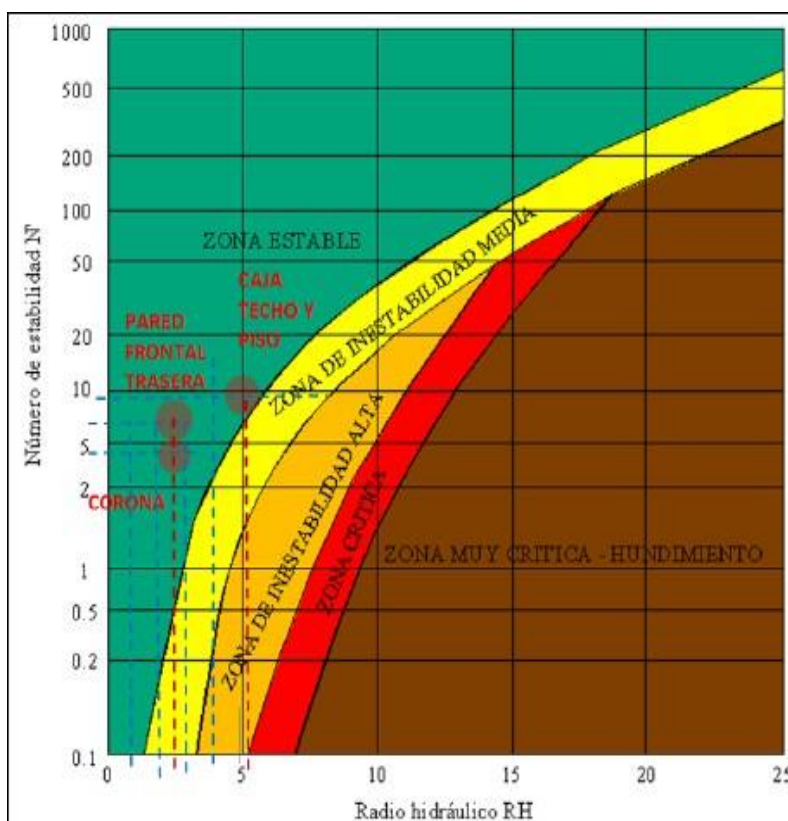


Figura 10. Estabilidad por el método de Mathews  
Tomada del Departamento de Geomecánica de la unidad minea Huarón



El método de minado AVOCA con relleno permanente denominado también como el método de minado *bench and fill*.

#### **4.1.2 Análisis técnico económico de los frentes de avances**

Se describen los resultados de cada ítem analizado en los parámetros técnicos importantes para la evaluación de costos de perforación y voladura para frentes de avances en la unidad minera Huarón, se detalla a continuación en los siguientes ítems:

##### **a) Costo de mano de obra**

El costo de mano de obra de los trabajos de perforación y voladura, según la descripción del puesto de trabajo, va acompañado por las leyes sociales y compensación por tiempo de servicios, en el anexo 2 y anexo 3 se muestra la escala de sueldo y jornales de la mano de obra de los trabajadores de la unidad minera Huarón, los que se utilizaron para el cálculo del costo de perforación y voladura de la presente investigación (8).

##### **b) Costo de aceros de perforación**

El equipo jumbo frontero, utilizada en la perforación de frentes de avance en los trabajos de preparación y desarrollo de la unidad minera Huarón, necesita del uso de aceros de perforación como broca de 45 mm, broca escariadora de 102 mm, barra de 12 y 14 pies y *shank adapter* o adaptador de culata. En el anexo 4 se muestra el costo unitario de los aceros de perforación respectivamente.

##### **c) Costo de explosivos y accesorio de voladura**

En la voladura, al realizar el cálculo de taladros del frente de trabajo tenemos la cantidad requerida de explosivos por lo que podemos calcular el costo para realizar el disparo de cada frente de avance. En el anexo 5 se muestra el costo de los explosivos y accesorios de voladura respectivamente utilizados en la unidad minera Huarón.

#### **d) Costo de herramientas**

El costo de herramientas engloba en general las herramientas utilizadas en la perforación y voladura utilizadas por el personal ya sea en el equipo de perforación, el Scooptram, carguío, entre otros. En el anexo 6 se detalla las herramientas utilizadas en la perforación y voladura.

#### **e) Costo de los implementos de seguridad**

Los trabajos en interior mina llevan a que el personal esté con los implementos de seguridad tales como botas de jebe, casco, orejeras, barbiquejo, entre otros, lleva un costo para la seguridad del trabajador. En el anexo 7 se muestran los costos de los implementos de seguridad.

#### **f) Costo horario del equipo de perforación**

Para calcular el costo horario de perforación se debe tener en cuenta los siguientes parámetros de la perforación del equipo en la veta Travieso.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de perforación en la veta Travieso.

**Tabla 13. Parámetros de perforación en la veta Travieso**

PERFORACION DE LA VETA TRAVIESO	
Horas de trabajo al mes:	165
Tarifa equipo	\$ 95.25
Ingresos mensuales	\$ 15,715.85
Gasto reparación y mant.	\$ 7,517.10
Ingresos – Gastos	\$ 8,198.75
Facturación anual	\$ 90,186.26



*Figura 12. Perforación de frente de avance en la unidad minera Huarón*

En la siguiente tabla se muestra el costo horario del equipo.

Tabla 14. Costo Horario del jumbo frontonero

<b>Jumbo AXERA D05</b>			
<b>Precio compra (\$)</b>		<b>481,875</b>	
Precio juego llantas (\$)		3,158	
Valor a depreciar en tres años		478,717	
Precio stock (V)		481,875	
Valor de rescate (Vr)	10.0%	48,188	
Vida económica en horas (n)	3600	10,500	
Vida económica en años (N)		2.9	
Vida llantas (horas)		3,000	
	<b>Consumo</b>	<b>Precio</b>	
	gal/hora	US \$/gal	
Petróleo diesel	1.50	2.86	
Aceite perforación	-	7.45	
Aceite hidráulico	0.12	7.45	
Grasas lbs/hora	0.54	2.10	
Filtro (0,4 * costo aceite + grasa)		40.0%	
Reparaciones		80.0%	
Cable eléctrico	18.0	100.0	
Factor de inversión $K = (n+1)/2n$		0.67	
Intereses %		10%	
Seguros %		0%	
			<b>Costo de Propiedad</b>
			Costo por depreciación
			Costo por intereses
			Costo por seguro
			<b>Total, costo de propiedad</b>
			<b>49.69</b>
			<b>Costo de operación</b>
			Combustible
			Lubricantes (aceite grasa)
			Costo filtros
			Costo llantas
		5.55	Reparación llanta (15% costo llanta)
			Cable eléctrico
			Costo reparaciones
			<b>Total, costo de operación</b>
			<b>45.55</b>
			<b>Total Costo de Propiedad y Operación (\$/hr)</b>
			<b>95.24</b>
			<b>Total Costo de Propiedad y Operación (S/. /hr)</b>
			<b>352.40</b>
			<b>COSTO DIRECTO SIN OPERADOR, NI COMBUSTIBLE (S/. /hr)</b>
			<b>336.5</b>



**Interpretación:** el costo de propiedad y operación en dólares por hora (\$/h) del equipo es de 95.24 respectivamente.

El costo de propiedad sin operador y combustible es 336.5 dólares por hora, este costo es utilizado para el cálculo más adelante para obtener el costo de perforación y voladura en frentes de avances.

#### **g) Costo horario del equipo de Scooptram**

El Scooptram LH 307 6 yd<sup>3</sup> tiene un costo de propiedad y operación respectivamente; así como el consumo de aceite y otros accesorios de mantenimiento del equipo.



*Figura 11. Scooptram de 6 yd<sup>3</sup>, unidad minera Huarón*

En la siguiente tabla se muestra el costo de propiedad y operación del equipo Scooptram.

Tabla 15. Costo Horario del equipo Scooptram LH 6 yd<sup>3</sup>

<b>Scoop LH 307 6.0 yd<sup>3</sup></b>				
<b>Precio compra (\$)</b>		<b>467,455</b>	<b>Costo de Propiedad</b>	<b>US \$/hora</b>
Precio juego llantas		<b>16,167</b>	Costo por depreciación	27.08
Vida llantas (hor)		<b>1,500</b>	Costo por intereses	7.46
Precio stock (V)		451,288	Costo por seguro	-
Valor de rescate (Vr)	10%	45,129	<b>Total, costo de Propiedad</b>	<b>34.54</b>
Vida económica en horas (n)	3960	15,000	<b>Costo de operación</b>	<b>US \$/hora</b>
Vida económica en años (N)		3.8	Combustible	12.96
	<b>Consumo</b>	<b>Precio</b>	Lubricantes (aceite grasa)	2.25
	gal/hora	US \$/gal	Costo filtros	3.04
Combustible	4.00	3.24	Costo llantas	10.78
Aceite motor gal/hor	0.14	7.45	Reparación llanta (15%)	1.62
Aceite hidráulico gal/hor	0.14	7.45	Repuestos	22.56
Grasa lbs/hora	0.08	2.10	<b>Total costo de operación</b>	<b>53.22</b>
Filtro (0,4 * costo aceite + grasa)		20%		
Repuestos		75%	<b>Total Costo de Propiedad y Operación (\$/hr)</b>	<b>87.75</b>
Factor de inversión $K = (n+1)/2n$		0.63	<b>Total Costo de Propiedad y Operación (S/. /hr)</b>	<b>324.69</b>
Intereses %		10.0%	<b>COSTO DIRECTO SIN OPERADOR, NI COMBUSTIBLE (S/. /hr)</b>	<b>276.74</b>
Seguros %		0.0%		

**Interpretación:** el costo de propiedad y operación en dólares por hora (\$/h) del equipo es de 87.75 respectivamente.

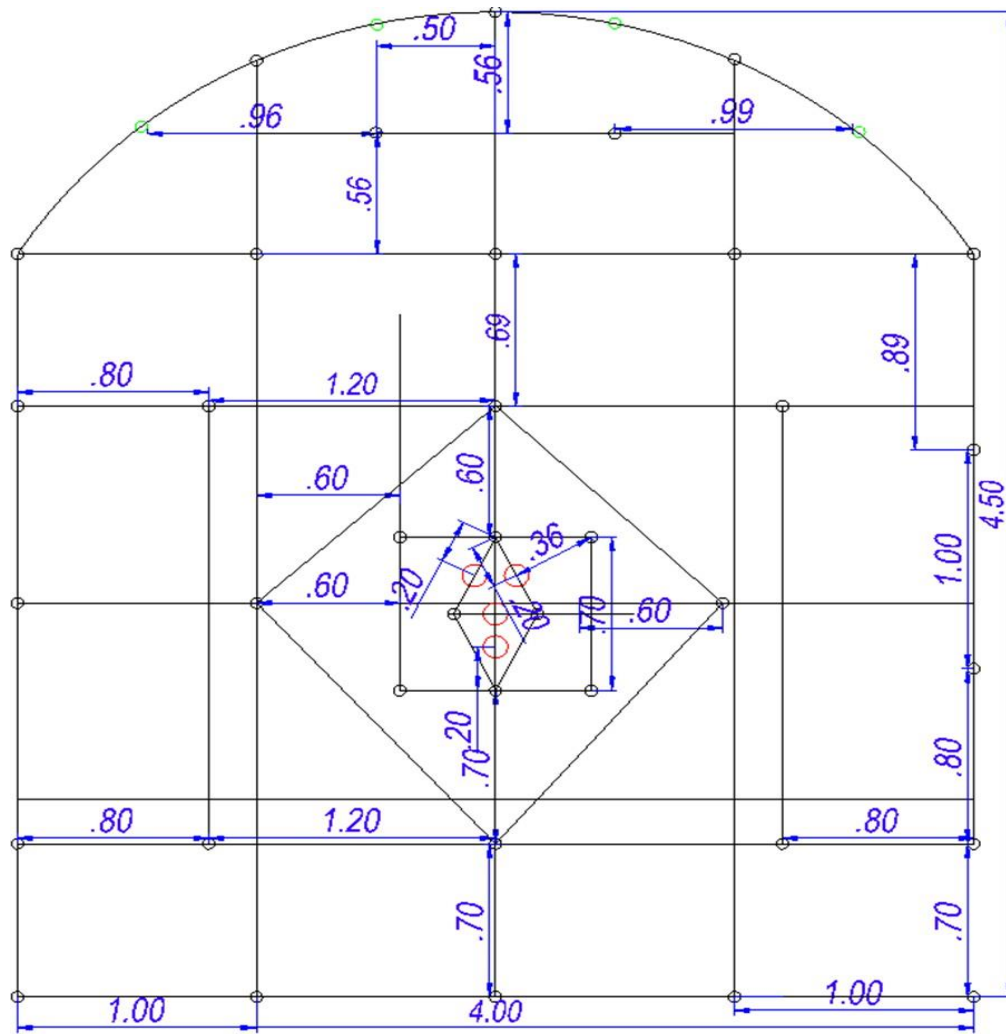
El costo de propiedad sin operador y combustible es 276.74 dólares por hora, este costo es utilizado para el cálculo más adelante para obtener el costo de perforación y voladura en frentes de avances.

## **4.2 Evaluación técnica económica de los frentes de avances de la unidad minera Huarón**

El cálculo del avance del metro lineal por disparo se realizó en moneda nacional peruana, en nuevos soles, según el tipo de cambio de año 2021, con relación a los demás parámetros mencionados en la anterior sección de esta investigación.

### **4.2.1 Análisis del diseño de malla de perforación y voladura con barra de 12 pies.**

El diseño de malla de perforación y voladura utilizada en la unidad minera Huarón se dio por las condiciones geomecánicas del tipo de roca que es de regular a competente, lo que origina una sección de malla de perforación y voladura de 4 x 4.5 m. En la siguiente figura, se muestra el diseño de malla de perforación y voladura.



**Figura 13. Diseño de malla de perforación y voladura, unidad minera Huarón**

En la siguiente figura, se muestra el esquema de carguío de 4.5 m x 4.0 m con barra de 12 pies.

**Tabla 16. Esquema de carguio de 4 m x 4.5 m con barra de 12 pies**

ESQUEMA DE CARGUIO: 4 x 4.5 m - 12'										
Tal. Perforados	45	Longitud barra	12'	3.658	Ø Broca - Producción	51 mm	Volumen Roto (m3)	59.3		
Tal. Cargados	37	Longitud efectiva	11'	3.292	Ø Broca - Rimado	102 mm	Explosivo (kg)	104.7		
RMR de 40 a 50										
EQUIPO PERFOR: JUMBO		CARTUCHOS / TALADRO					ACCES. VOLADURA		KPI	
Detalle	Número Taladros	E3000 ó E65 - 1 1/2 x 12		E3000 ó E65 - 1 1/4 x 12		E1000 ó E45 - 1 1/4 x 12		# Retardo	Cantidad	Factor carga (Kg/m3)
Precorte - Corona	4.0	---	---	---	---	---	---	1.0	2.0	
Alivio - Rimados	4.0	---	---	---	---	---	---	7.0	2.0	1.77
Arranque	4.0	9.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	2.0	
1 ra ayuda	4.0	9.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	2.0	Avance (90%)
2 da ayuda	4.0	9.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	2.0	
Cuadradores	4.0	9.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	2.0	Factor Avance (kg/ml)
1ra ayuda - corona	3.0	8.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0	2.0	
2da ayuda - corona	2.0	8.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.0	3.0	<b>34.90</b>
Cuadradores	6.0	0.0	0.0	1.0	6.0	6.0	36.0	140.0	2.0	
Corona	5.0	0.0	0.0	1.0	5.0	5.0	25.0	180.0	6.0	
Arrastre	5.0	0.0	0.0	10.0	50.0	0.0	0.0	220.0	5.0	
TALADROS PERFORADOS	45	184		61		61		288	5	
KILOGRAMOS DE CARGA TOTAL	<b>104.7</b>	71.88	KG	16.59	KG	16.22	KG			

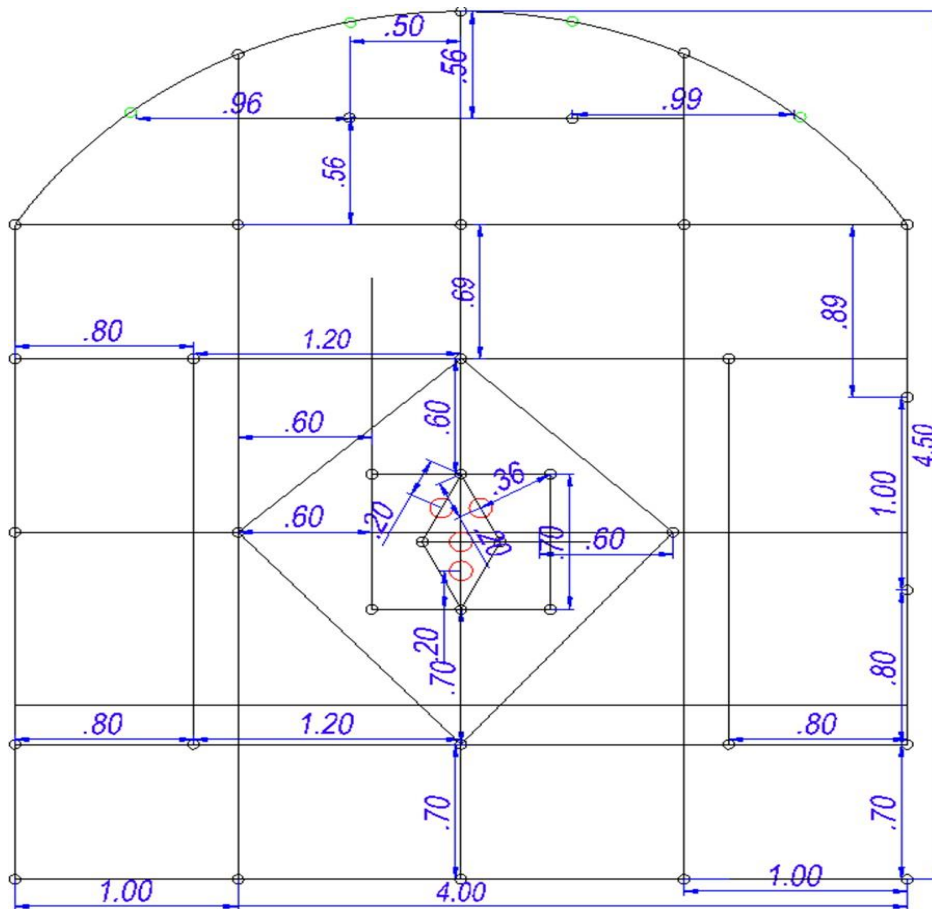
  

EXPLOSIVOS					
EMULSION	EMULNOR / EMULEX (3000 ó 65 - 1 1/2 x 12)	EMULNOR (3000 - 1 1/4 x 12)	EMULEX (65 - 1 1/4 x 12)	EMULNOR (1000 - 1 1/4 x 12)	EMULEX (45 - 1 1/4 x 12)
Caja Explosivos (und)	64.0	92.0	96.0	94.0	100.0
Nº Cajas Explosivos (und)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Unidades	3.0	15.0	13.0	14.0	11.0
Mecha rápida - 1 m	37.0 Exaneles		2.0 Carmex		Cordón detonante: 30 m

**Interpretación:** se muestra la distribución de los taladros y el orden de la carga explosivo en la malla de perforación de sección 4 x 4.5 m con barra de 12 pies, el cual considera un total de 45 taladros perforados, con 104.7 kg de explosivo y un factor de avance de 34.90 kg/ml.

#### 4.2.2 Análisis del diseño de malla de perforación y voladura con barra de 14 pies.

Las condiciones geomecánicas el tipo de roca es de regular a competente lo cual la sección de mala de perforación y voladura de 4 x 4.5 m es factible, para la perforación con barra de 14 pies, es factible en la siguiente figura se muestra el diseño de malla de perforación y voladura.



**Figura 14. Diseño de malla de perforación y voladura, unidad minera Huarón.**

En la siguiente figura, se muestra el esquema de carguío de 4 x 4.5 m con barra de 14 pies.

**Tabla 17. Esquema de carguío de 4 m x 4.5 m con barra de 14 pies**

ESQUEMA DE CARGUIO: 4 x 4.5 m - 14'										
Tal. Perforados	45	Longitud barra	14'	4.27	Ø Broca - Producción	51 mm	Volumen Roto (m3)	69.1		
Tal. Cargados	37	Longitud efectiva	13'	3.84	Ø Broca - Rimado	102 mm	Explosivo (kg)	112.9		
RMR de 40 a 50										
EQUIPO PERFOR: JUMBO		CARTUCHOS / TALADRO					ACCES. VOLADURA		KPI	
Detalle	Número Taladros	E3000 ó E65 - 1 1/2 x 12		E3000 ó E65 - 1 1/4 x 12		E1000 ó E45 - 1 1/4 x 12		# Retardo	Cantidad	Factor carga (Kg/m3)
Precorte - Corona	4.0	---		---		---		1.0	2.0	
Alivio - Rimados	4.0	---		---		---		7.0	2.0	1.63
Arranque	4.0	10.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	2.0	
1 ra ayuda	4.0	10.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	2.0	Avance (90%)
2 da ayuda	4.0	10.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	2.0	
Cuadradores	4.0	10.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	2.0	Factor Avance (kg/ml)
1ra ayuda - corona	3.0	9.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.0	2.0	
2da ayuda - corona	2.0	9.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.0	3.0	<b>37.63</b>
Cuadradores	6.0	0.0	0.0	1.0	6.0	6.0	36.0	140.0	2.0	
Corona	5.0	0.0	0.0	1.0	5.0	5.0	25.0	180.0	6.0	
Arrastre	5.0	0.0	0.0	10.0	50.0	0.0	0.0	220.0	5.0	
TALADROS PERFORADOS	45	205		61		61		288	5	
KILOGRAMOS DE CARGA TOTAL	<b>112.9</b>	80.08 KG		16.59 KG		16.22 KG				

EXPLOSIVOS					
EMULSION	EMULNOR / EMULEX (3000 ó 65 - 1 1/2 x 12)	EMULNOR (3000 - 1 1/4 x 12)	EMULEX (65 - 1 1/4 x 12)	EMULNOR (1000 - 1 1/4 x 12)	EMULEX (45 - 1 1/4 x 12)
Caja Explosivos (und)	64.0	92.0	96.0	94.0	100.0
N° Cajas Explosivos (und)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Unidades	3.0	15.0	13.0	14.0	11.0
Mecha rápida - 1 m	37.0 Exaneles		2.0 Carmex		Cordón detonante: 30 m

**Interpretación:** se muestra la distribución de los taladros y el orden de la carga explosivo en la malla de perforación de sección 4 m x 4.5 m con barra de 14 pies, el cual considera un total de 45 taladros perforados, con 112.9 kg de explosivo y un factor de avance de 37.63 kg/ml.

Cuando se realiza la perforación con taladros de perforación de 14', se genera el incremento de explosivos en 8.2 kg/disparo y un incremento en el factor de avance de 2.73 kg/ml.

Para la estructura de costo de perforación y voladura con barras de 12 o 14 pies se incluyó el costo de la cuneta del diseño de malla la cual se realiza con los mismos parámetros de perforación y voladura.

#### 4.2.3 Análisis de costos de perforación y voladura - 12 pies

Para la elaboración de la estructura de costos, se tomó en cuenta los costos mencionados en las secciones anteriores como mano de obra, implementos de seguridad, herramientas, costo horario de los equipos de perforación y el costo horario del scooptrams.

También se consideró los siguientes elementos para de los equipos tanto en perforación como scooptram.

**Tabla 18. Parámetros de perforación Jumbo frontonero con scooptram 6 yd<sup>3</sup> con barra de 12 pies**

RAMPA 4.5 x 4.0 m - 12'				
Perforación: Jumbo - Limpieza: Scoop 6 yd <sup>3</sup>				
(Distancia acarreo: 150 m)				
Parámetros:				
Tipo roca:	dura		Tipo cambio	3.7
Ancho:	4.5	mt	Eficiencia Perforación	90%
Alto:	4.0	mt	Eficiencia Disparo	90%
Longitud barra	12.0	pies	Longitud Carga	2.19 m
N° Taladros por Frente	45	taladros	<b>Avance Efectivo</b>	<b>2.96 m</b>
N° Taladros cargados	37.0	taladros	m <sup>3</sup> / disparo	59.25 m <sup>3</sup>
Factor carga:	34.9	kg/m	Long. Efec. perfor.	3.29 mts
kilogramos explosivo	104.7	kg	kg/ tal	2.83

En la siguiente tabla se muestra la estructura de costos de perforación y voladura en frentes de avances.



**Tabla 19. Estructura de costos de la perforación y voladura en frentes de avances con barra de 12 pies**

**ESTRUCTURA DE COSTOS: RAMPA(+) 4.50 x 4.0 - 12'**

Tal. Perf. /disparo	45	Long. Efec.Perforac. (m)	3.29
Tal. cargados	37	Efic. Perfor.	90%
Factor carga (Kg/tal)	2.8	Rendim. (m/disp):	2.96

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	INCIDENCIA	P.u. S/. / Und	Total S/.	Total S/. /m
<b>1.1 Mano de Obra</b>						<b>360.90</b>
Capataz	tar	0.200	0.71	191.057	27.09	
Bodeguero	tar	0.200	0.71	135.264	19.18	
Mecánico	tar	0.400	1.42	212.937	120.75	
Electricista - Equipos	tar	0.250	0.89	201.997	44.74	
Operador Jumbo	tar	1.300	100.0%	201.997	262.60	
Ayudante Jumbo	tar	1.300	100.0%	144.016	187.22	
Operador Scoop	tar	1.300	50.0%	191.057	124.19	
Maestro Perforista	tar	1.300	70.0%	144.016	131.05	
Ayudante	tar	1.300	70.0%	135.264	123.09	
Ayudante de servicios	tar	1.300	16.7%	135.264	29.31	
<b>1.2 Aceros de perforación</b>						<b>161.22</b>
Aceite de Perforación	Gln	0.330	100.0%	21.910	7.23	
Barras de Perforación	pp	486.000	100.0%	0.217	105.30	
Brocas de perforación - 45 mm	pp	486.000	100.0%	0.355	172.29	
Rimadora	pp	86.400	100.0%	1.503	129.83	
Shank adapter	pp	486.000	100.0%	0.094	45.61	
Copas de afilado	pp	486.000	100.0%	0.036	17.37	
<b>1.3 Herramientas</b>						<b>13.88</b>
Lampa	pza	2.000	100.0%	0.529	1.06	
Pico	pza	2.000	100.0%	0.591	1.18	
Combo 6 Lbs	pza	1.000	100.0%	0.386	0.39	
Llave Stilson de 8"	pza	1.000	100.0%	0.274	0.27	
LLave Francesa 8"	pza	1.000	100.0%	0.240	0.24	
Maquina Ban Dit	pza	1.000	100.0%	1.806	1.81	
Cinta Ban Dit 1/2	rollo	1.000	100.0%	1.931	1.93	
Cinta Ban Dit 3/8	rollo	1.000	100.0%	1.625	1.63	
Barretilla de 4'	pza	1.000	100.0%	0.990	0.99	
Barretilla de 6'	pza	1.000	100.0%	1.170	1.17	
Barretilla de 8'	pza	1.000	100.0%	1.300	1.30	
Barretilla de 10'	pza	1.000	100.0%	1.430	1.43	
Barretilla de 12'	pza	1.000	100.0%	1.430	1.43	
Tubo PVC 1 1/2 x 3.00 Mts.	und	3.000	100.0%	3.600	10.80	
Disco de jebe	pza	1.000	100.0%	0.200	0.20	
Taco de Arcilla	pza	37.000	100.0%	0.200	7.40	
Ocre Polvo Rojo	kgr	0.167	100.0%	10.000	1.67	
<b>Escaleras telescópicas</b>	pza	1.000	100.0%	5.587	5.59	
<b>Arco de sierra + hoja</b>	pza	1.000	100.0%	0.650	0.65	
<b>1.4 Implementos de Seguridad</b>						<b>19.34</b>
Tareas sin ropa de agua	tar	3.900	100.0%	8.591	33.51	
Tareas con ropa de agua	tar	2.600	100.0%	9.150	23.79	
<b>1.5 Equipos en Operación</b>						<b>581.87</b>
Jumbo 01 Brazo	Hr.m	2.820	100.0%	336.528	949.01	
Scooptram Sandvick	Hr.m	2.800	100.0%	276.736	774.86	
<b>1.6 Sub Partida (C.D)</b>						<b>24.54</b>
Cuneta 0.30 X 0.30	ml	1.000	100.0%	24.542	24.54	
<b>(A) Costo Directo - Total</b>						<b>1161.75</b>
<b>(B) Utilidad</b>	8.5%					<b>98.75</b>
<b>(C) Explosivos y Acc. Voladura</b>						<b>212.67</b>
Emulnor 3000 1 1/2 x 12 o E65 1 1/2 x 12	kg	76.581	100.0%	6.236	477.56	
Fanel	und	37.000	100.0%	3.338	123.51	
Mecha rápida	m	2.000	100.0%	1.064	2.13	
Cordón detonante	m	25.000	100.0%	1.075	26.88	
<b>(D) Combustible</b>						<b>60.83</b>
Petróleo Jumbo	Gln	4.230	100.0%	11.680	49.41	
Petróleo Scoop	Gln	11.200	100.0%	11.680	130.82	
<b>COSTO TOTAL POR METRO LINEAL (A+B+D)</b>						<b>1.321.33</b>
<b>COSTO UNITARIO POR METRO LINEAL (S./m)</b>						<b>445.99</b>
<b>COSTO UNITARIO POR METRO LINEAL (US \$/m)</b>						<b>120.54</b>

**Interpretación:** de la tabla se puede apreciar lo siguiente:

- ✓ Un costo directo que incluye costo de mano de obra, aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos (jumbo y scooptram) y costo de la cuneta, da un monto total directo de 1,161.75 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ La utilidad al 8.5 % del costo total directo es de 98.75 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ El costo del explosivo y accesorios de voladura de 212.67 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ El costo de combustible para los equipos (jumbo y scooptram) es de 60.83 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ Siendo un costo total de 1,321.33 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)

#### 4.2.4 Análisis de costos de perforación y voladura - 14 pies

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de perforación Jumbo frontonero con scooptram 6 yd3 con barra de 14 pies.

**Tabla 20. Parámetros de perforación Jumbo frontonero con scooptram 6 yd barra de 14 pies**

RAMPA 4.5 x 4.0 m - 14'				
Perforación: Jumbo - Limpieza: Scoop 6 yd3				
(Distancia acarreo: 150 m)				
Parámetros:				
Tipo roca:	dura		Tipo cambio	3.70
Ancho:	4.5	mt	Eficiencia Perforación	90%
Alto:	4.0	mt	Eficiencia Disparo	90%
Longitud barra	14.0	pies	Longitud Carga	2.56 m
Nº Taladros por Frente	45	taladros	<b>Avance Efectivo</b>	<b>3.46 m</b>
Nº Taladros cargados	37.0	taladros	m3 / disparo	62.22 m3
Factor carga:	38.0	kg/m	Long. Efec. perfor.	3.84 mts
kilogramos explosivo	97.3	kg	kg/ tal	2.63

En la siguiente tabla se muestra la estructura de costos de perforación y voladura en frentes de avances.

**Tabla 21. Estructura de costos de la perforación y voladura en frentes de avances con barra de 14 pies**

ESTRUCTURA DE COSTOS: RAMPA(+) 4.5 x 4.0 - 14'						
Tal. Perf. /disparo	45			Long. Efec.Perforac. (m)		3.84
Tal. cargados	37			Efic. Perfor.		90%
Factor carga (Kg/tal)	2.6			Rendim. (m/disp):		3.46

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	INCIDENCIA	P.u. \$/ Und	Total \$.	Total \$/ m
<b>1.1 Mano de Obra</b>						<b>300.59</b>
Capataz	tar	0.200	0.608	191.057	23.22	
Bodeguero	tar	0.200	0.608	135.264	16.44	
Mecánico	tar	0.400	1.215	212.937	103.50	
Electricista - Equipos	tar	0.250	0.759	201.997	38.35	
Operador Jumbo	tar	1.300	100.0%	201.997	262.60	
Ayudante Jumbo	tar	1.300	100.0%	144.016	187.22	
Operador Scoop	tar	1.300	50.0%	191.057	124.19	
Maestro Perforista	tar	1.300	70.0%	144.016	131.05	
Ayudante	tar	1.300	70.0%	135.264	123.09	
Ayudante de servicios	tar	1.300	16.7%	135.264	29.31	
<b>1.2 Aceros de perforación</b>						<b>160.87</b>
Aceite de Perforación	Gln	0.330	100.0%	21.910	7.23	
Barras de Perforación	pp	567.000	100.0%	0.217	122.85	
Brocas de perforación - 45 mm	pp	567.000	100.0%	0.355	201.01	
Rimadora	pp	100.800	100.0%	1.503	151.47	
Shank adapter	pp	567.000	100.0%	0.094	53.21	
Copas de afilado	pp	567.000	100.0%	0.036	20.27	
<b>1.3 Herramientas</b>						<b>13.44</b>
Lampa	pza	2.000	100.0%	0.529	1.06	
Pico	pza	2.000	100.0%	0.591	1.18	
Combo 6 Lbs	pza	1.000	100.0%	0.386	0.39	
Llave Stilson de 8"	pza	1.000	100.0%	0.274	0.27	
LLave Francesa 8"	pza	1.000	100.0%	0.240	0.24	
Maquina Ban Dit	pza	1.000	100.0%	1.806	1.81	
Cinta Ban Dit 1/2	rollo	1.000	100.0%	1.931	1.93	
Cinta Ban Dit 3/8	rollo	1.000	100.0%	1.625	1.63	
Barretilla de 4'	pza	1.000	100.0%	0.990	0.99	
Barretilla de 6'	pza	1.000	100.0%	1.170	1.17	
Barretilla de 8'	pza	1.000	100.0%	1.300	1.30	
Barretilla de 10'	pza	1.000	100.0%	1.430	1.43	
Barretilla de 12'	pza	1.000	100.0%	1.430	1.43	
Tubo PVC 1 1/2 x 3.00 Mts.	und	3.000	100.0%	3.600	10.80	
Disco de jebe	pza	1.000	100.0%	0.200	0.20	
Taco de Arcilla	pza	37.000	100.0%	0.200	7.40	
Ocre Polvo Rojo	kgr	0.167	100.0%	10.000	1.67	
Escaleras telescópicas	pza	1.000	100.0%	5.587	5.59	
Arco de sierra + hoja	pza	1.000	100.0%	0.650	0.65	
Manguera tipo boa de 4" Φ	ml	1.000	10.0%	53.300	5.33	
<b>1.4 Implementos de Seguridad</b>						<b>16.58</b>
Tareas sin ropa de agua	tar	3.900	100.0%	8.591	33.51	
Tareas con ropa de agua	tar	2.600	100.0%	9.150	23.79	
<b>1.5 Equipos en Operación</b>						<b>508.00</b>
Jumbo 01 Brazo	Hr.m	2.820	100.0%	336.528	949.01	
Scooptram Sandvick	Hr.m	2.800	100.0%	276.736	774.86	
Bomba eléctrica	Hr	4.000	100.0%	8.000	32.00	
<b>1.6 Sub Partida (C.D)</b>						<b>24.54</b>
Cuneta 0.30 X 0.30	ml	1.000	100.0%	24.542	24.54	
<b>(A) Costo Directo - Total</b>						<b>1024.02</b>
<b>(B) Utilidad</b>	8.5%					<b>87.04</b>
<b>(C) Explosivos y Acc. Voladura</b>						<b>219.66</b>
Emulnor 3000 1 1/2 x 12 o E65 1 1/2 x 12	kg	97.292	100.0%	6.236	606.71	
Fanel	und	37.000	100.0%	3.338	123.51	
Mecha rápida	m	2.000	100.0%	1.064	2.13	
Cordón detonante	m	25.000	100.0%	1.075	26.88	
<b>(D) Combustible</b>						<b>52.14</b>
Petróleo Jumbo	Gln	4.230	100.0%	11.680	49.41	
Petróleo Scoop	Gln	11.200	100.0%	11.680	130.82	
<b>COSTO TOTAL POR METRO LINEAL (A+B+D)</b>						<b>1,163.20</b>
<b>COSTO TOTAL POR METRO LINEAL (\$/ .m)</b>						<b>336.53</b>
<b>COSTO TOTAL POR METRO LINEAL (US \$/m)</b>						<b>90.95</b>

**Interpretación:** de la tabla se puede apreciar lo siguiente:

- ✓ Un costo directo que incluye costo de mano de obra, aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos (jumbo y scooptram) y costo de la cuneta, da un monto total directo de 1,024.02 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ La utilidad al 8.5 % del costo total directo es de 87.04 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ El costo del explosivo y accesorios de voladura es de 219.66 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ El costo de combustible para los equipos (jumbo y scooptram) es de 52.14 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ Siendo un costo total por unidad valorizada de 1,163.20 nuevos soles por metro lineal (s/ / m).

#### **4.3 Discusión de resultados**

La evaluación técnica económica de los frentes de avances es factible para incrementar el metro lineal de avance por disparo en la unidad minera Huarón.

La perforación y voladura en frentes de avances en la veta Travieso del nivel 450 en el año 2019 se realizó con barra de 12 pies como se muestra en los respectivos cálculos de la estructura de costos para frentes de avance con secciones de 4 m x 4.5 m, ya para el año 2020 se viene perforando con barra de 14 pies.

- **Optimización del costo por disparo en frentes de avance**

Una vez obtenidos los dos escenarios de la estructura de costos por disparo con barra de 12 pies y barra de 14 pies, en la siguiente tabla se realizará la comparación de los parámetros de perforación.

##### **a) Optimización de los parámetros de perforación**

**Tabla 22. Comparación de parámetros de perforación**

Parámetros de perforación	AÑO 2019	AÑO 2020
	Frente de avance con barra de 12 pies	Frente de avance con barra de 14 pies
Longitud efectiva - Perforación m	3.29	3.84
Eficiencia perforación	0.90	0.90
Rendimiento (m/disparo):	2.96	3.46

En la siguiente tabla se muestra la mejora de los parámetros de perforación y el rendimiento por disparo obtenido.

**Tabla 23. Mejora de los parámetros de perforación.**

Parámetros de perforación	Mejora de parámetros de perforación
Longitud efectiva perforación m	0.55
Rendimiento (m/disparo):	0.49

**Interpretación:** de la tabla se tiene las siguientes mejoras:

- ✓ La longitud efectiva de perforación tiene un incremento 0.55 metros con la barra de 14 pies.
- ✓ El rendimiento por disparo se incrementó en 0.49 metros con la barra de 14 pies.

#### **b) Optimización de la estructura de costos de los frentes de avance**

En la siguiente tabla se muestra la comparación de costos de entre los dos frentes de avance con distintas longitudes de perforación.

**Tabla 24. Comparación de costos de los frentes de avance**

	Frente de avance con barra de 12 pies (s/. /m)	Frente de avance con barra de 14 pies (s/. /m)
Mano de Obra	360.90	300.59
Aceros de perforación	161.22	160.87
Herramientas	13.88	13.44
Implementos de seguridad	19.34	16.58
Equipos en operación (Jumbo y Sccop)	581.87	508.00
Subpartida (C.D) Cuneta 0.30 X 0.30	24.54	24.54
<b>Subtotal</b>	<b>1,161.75</b>	<b>1,024.02</b>
Utilidad	98.75	87.04
Explosivos y accesorios de voladura	212.67	219.66
Combustible	60.83	52.14
<b>Costo total por metro lineal</b>	<b>1,321.33</b>	<b>1,163.20</b>

En la siguiente tabla se muestra la reducción de costos con barra de 14 pies.

Tabla N. 25: reducción de costos con barra de 14 pies

Ítems	Reducción de costos con barra de 14 pies (s/. /met)
Mano de obra	60.31
Aceros de perforación	0.35
Herramientas	0.44
Implementos de seguridad	2.76
Equipos en operación (Jumbo y Sccop)	73.87
Subpartida (C.D) Cuneta 0.30 X 0.30	0.00
<b>Subtotal</b>	<b>137.73</b>
Utilidad	11.71
Explosivos y accesorios de voladura	-6.99
Combustible	8.69
<b>Costo total por metro lineal</b>	<b>158.13</b>

**Interpretación:** de la tabla se tiene las siguientes mejoras:

- ✓ Se tuvo una reducción de costo de mano de obra, aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos (jumbo y scooptram) y costo de la cuneta de 137.73 nuevos soles por metro lineal (s/ / m), tras las eficiencias

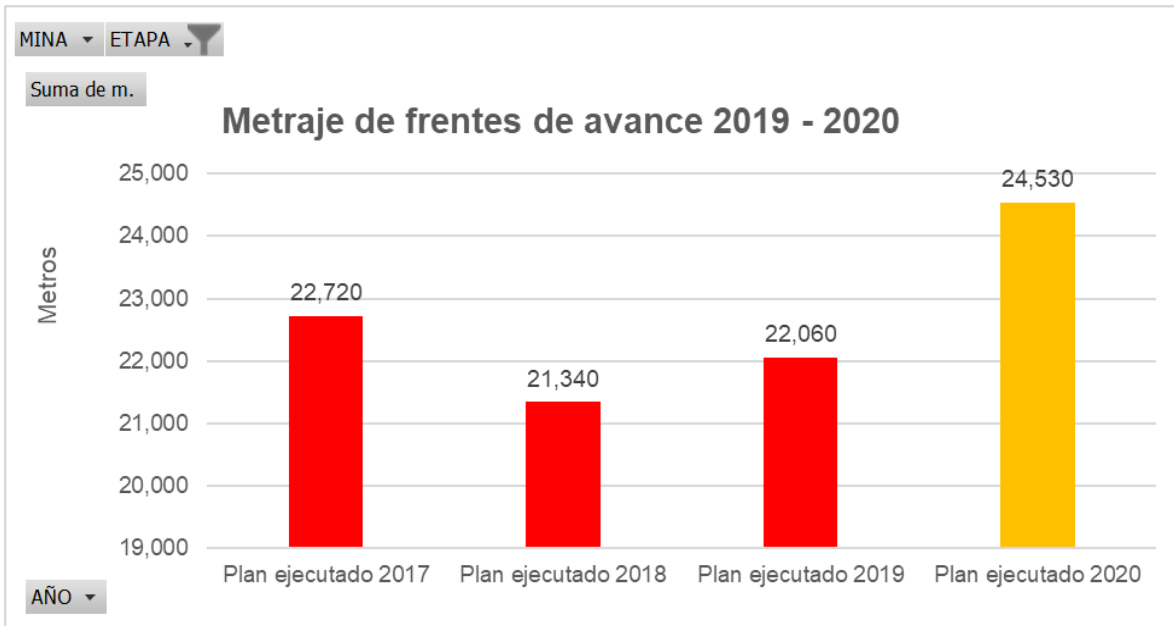
de las capacitaciones de operadores como ayudantes en el jumbo y scooptram como el personal encargado de la voladura.

- ✓ La utilidad del costo total directo tras la diferencia del costo entre ambas barras es de 11.71 nuevos soles por metro lineal (s/ / m) a favor de la barra de 14 pies.
- ✓ El aumento del costo del explosivo y accesorios de voladura es de 6.99 nuevos soles por metro lineal (s/ / m), se tiene un incremento del costo debido a la demanda de explosivos al tener mas longitud de taladro de perforacion se va necesitar mas explosivos.
- ✓ Se redujo el costo de combustible para los equipos (jumbo y scooptram) de 8.69 nuevos soles por metro lineal (s/ / m), tras la mejora de las perdidas horarias de los equipos y la malas prácticas de los operadores.
- ✓ Siendo un costo total de ahorro por metro lineal de 158.13 nuevos soles por metro lineal (s/ / m)
- ✓ En la siguiente tabla se muestra el plan de minado ejecuta en los últimos 4 años

**Tabla 26. Resumen del plan de minado ejecutado del año 2017 al año 2020**

<b>AÑO</b>	<b>MINA</b>	<b>ETAPA</b>	<b>metros.</b>
Plan ejecutado 2017	Huarón	DESARROLLO	10,980
Plan ejecutado 2017	Huarón	PREPARACION	11,740
Plan ejecutado 2017	Huarón	EXPLOTACION	4,384
Plan ejecutado 2018	Huarón	DESARROLLO	11,260
Plan ejecutado 2018	Huarón	PREPARACION	10,080
Plan ejecutado 2018	Huarón	EXPLOTACION	4,706
Plan ejecutado 2019	Huarón	DESARROLLO	10,320
Plan ejecutado 2019	Huarón	PREPARACION	11,740
Plan ejecutado 2019	Huarón	EXPLOTACION	2,100
Plan ejecutado 2020	Huarón	DESARROLLO	11,955
Plan ejecutado 2020	Huarón	PREPARACION	12,575
Plan ejecutado 2020	Huarón	EXPLOTACION	6,384

En la siguiente figura se muestra a detalle el metraje de frentes de avance del año 2017 al 2020 respectivamente.



**Figura 15. Metraje de frentes de avance del año 2017 al 2020 respectivamente.**

**Interpretación:** de la figura se puede observar lo siguiente:

- ✓ El plan ejecutado en el año 2019 es de 22,060 metros lineales
- ✓ El plan ejecutado en el año 2020 es de 24,530 metros lineales
- ✓ La optimización de los frentes de avance es de 2,470 metros lineales
- ✓ La optimización de los frentes de avance es de 399,964 nuevos soles por metro lineal (s/ / m) a favor de la barra de 14 pies

#### 4.3.1 Análisis de tiempo en frente de avance

La evaluación técnica económica de los frentes de avance es factible y viable para la reducción del tiempo en el desarrollo de labores de avance y preparación en la unidad minera Huarón.

- **Reducción del tiempo en el avance de labores de avance y preparación**

El tiempo de desarrollo en galerías, rampas, *by pass*, etc. para la explotación del método de minado por corte y relleno ascendente o para el método de minado *bench and fill* es de vital importancia para el cumplimiento en los planes de minado de la unidad minera Huarón.



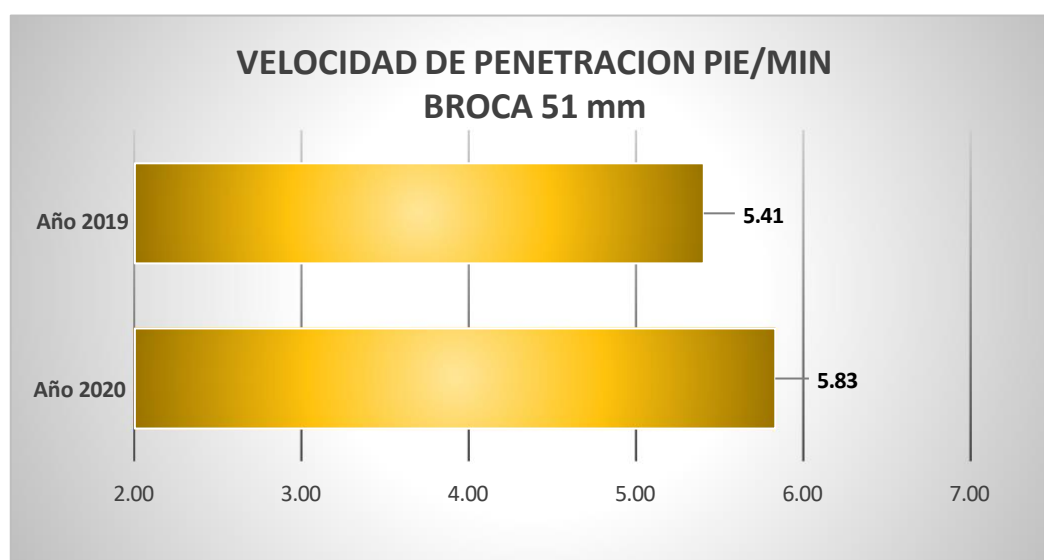
El análisis en trabajos de desarrollo en taladros largos se realizó para una altura de 14 pies, en la tabla siguiente se realiza la comparación del tiempo de perforación de una broca y una barra tras las mejoras operativas de perforación.

**Tabla 27. Análisis de pérdida de penetración de la roca en la veta Travieso**

Tiempo (h) – 14'	Broca SR35 X 51MM ESF. Año 2020		Broca SR35 X 51MM ESF. Año 2019		Diferencia
	1 Tal	45 Tal	1 Tal	45 Tal	
Tiempo perforación	2.40	108.00	2.59	116.55	8.55
Parada de posición.	0.41	18.48	0.42	18.90	0.42
Total (min)	3.22	151.50	3.41	165.75	14.25
Total (h)	00:03:13	02:31:30	00:03:25	02:45:45	00:14:15

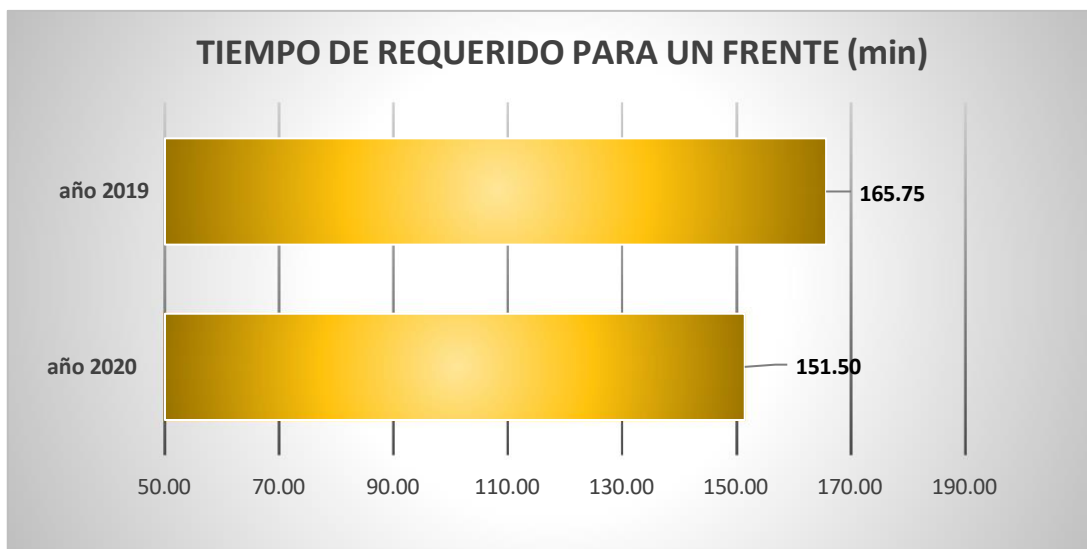
De la tabla se observa que una broca en el año 2019 demora más en perforar la roca, tras las mejoras operativas en el año 2020 se redujo el tiempo en 14 minutos menos que el año 2019.

En la siguiente figura se muestra la velocidad de penetración (pie/min), para un taladro con broca 51 mm.



**Figura 15. Velocidad de penetración (pie/min) – veta Travieso**

En la siguiente figura se muestra el tiempo requerido de perforación con barra de 14 pies en 45 taladros.



**Figura 15. Tiempo requerido para 45 taladros de 14 pies broca 51 mm – veta Travieso**

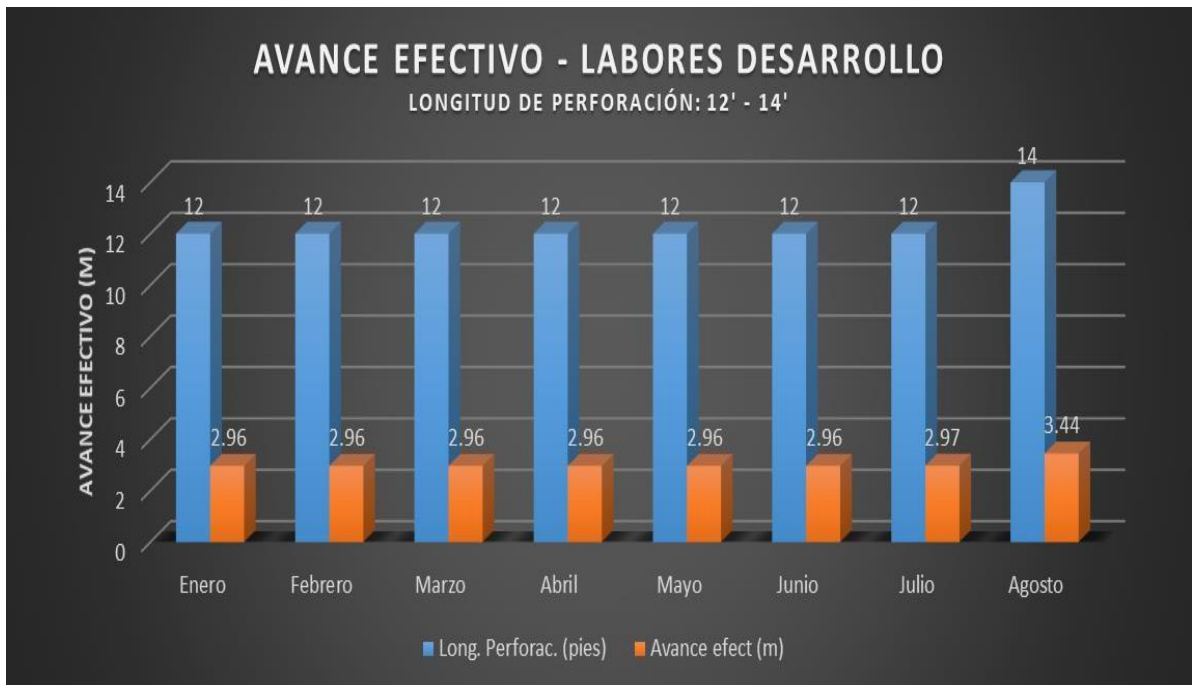
**Análisis:** en la figura se muestra el tiempo requerido para realizar 45 taladros de los frentes de avance, preparación y producción en la veta Travieso. Para el año 2019 se tiene 165.75 min y para el año 2020 se tiene 151.50 min, la velocidad de perforación en los diferentes frentes operacionales, considerando una mejora operativa. Durante el desarrollo de los diferentes frentes de desarrollo con 45 taladros perforados, se considera un ahorro de 14 minutos.

#### **4.4 Análisis de estudio – rampa 4.5 X 4.0**

El desarrollo del presente estudio tuvo como escenario el análisis de la rampa de 4.5 x 4.0, considerando el periodo de estudio de enero a julio (12 pies) y el periodo de agosto (14 pies).

**Tabla 28. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a agosto**

AVANCE EFECTIVO - LABORES DE AVANCE					
JUMBO: 12 - 14 PIES					
Mes	Long. Perforac. (pies)	N° Taladros (und)	Horas Perfor (hrs)	Metros perfor. (m)	Avance efec (m)
Enero	12	44.30	5.35	171.95	2.96
Febrero	12	35.92	4.34	137.78	2.96
Marzo	12	41.17	4.97	156.91	2.96
Abril	12	37.77	4.56	146.87	2.96
Mayo	12	40.94	4.94	158.61	2.96
Junio	12	32.65	3.94	125.16	2.96
Julio	12	33.19	4.01	126.71	2.97
Agosto	14	31.50	3.80	140.50	3.44
<b>PROMEDIO</b>	<b>12.25</b>	<b>37.18</b>	<b>4.49</b>	<b>145.56</b>	<b>3.02</b>



**Figura 15. Avance efectivo en labores de desarrollo, periodo enero a agosto**



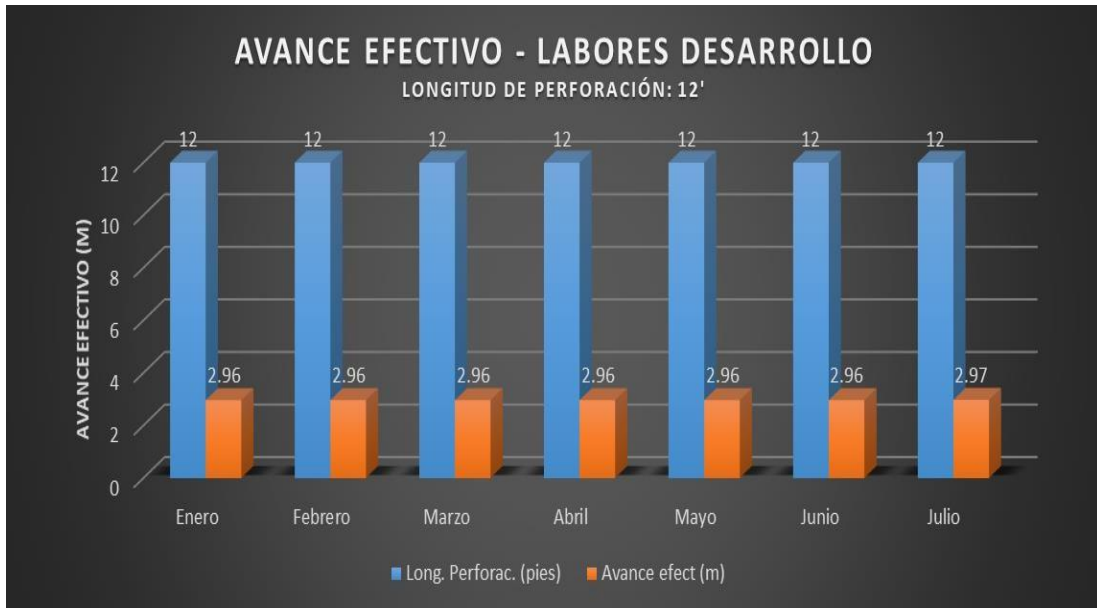
**Figura 15. Tiempo efectivo en labores de desarrollo, periodo de enero a agosto**

El análisis de avance realizado en la rampa de 4.5 x 4.0 m durante el periodo de enero a agosto considera un promedio de longitud de perforación por disparo de 12.25 pies, con un tiempo promedio de perforación de 4.49 horas, un promedio de 145.56 metros perforados y un avance efectivo promedio de 3.02 metros.

a) Periodo de enero a julio – 12 pies

**Tabla 29. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio**

AVANCE EFECTIVO - LABORES DE AVANCE					
JUMBO: 12 PIES					
Mes	Long. Perforac. (pies)	N° Taladros (und)	Horas Perfor (hrs)	Metros perfor. (m)	Avance efec (m)
Enero	12	44.30	5.35	171.95	2.96
Febrero	12	35.92	4.34	137.78	2.96
Marzo	12	41.17	4.97	156.91	2.96
Abril	12	37.77	4.56	146.87	2.96
Mayo	12	40.94	4.94	158.61	2.96
Junio	12	32.65	3.94	125.16	2.96
Julio	12	33.19	4.01	126.71	2.97
<b>PROMEDIO</b>	<b>12.00</b>	<b>37.99</b>	<b>4.59</b>	<b>146.28</b>	<b>2.96</b>



**Figura 15. Avance efectivo en labores de desarrollo, periodo de enero a julio**



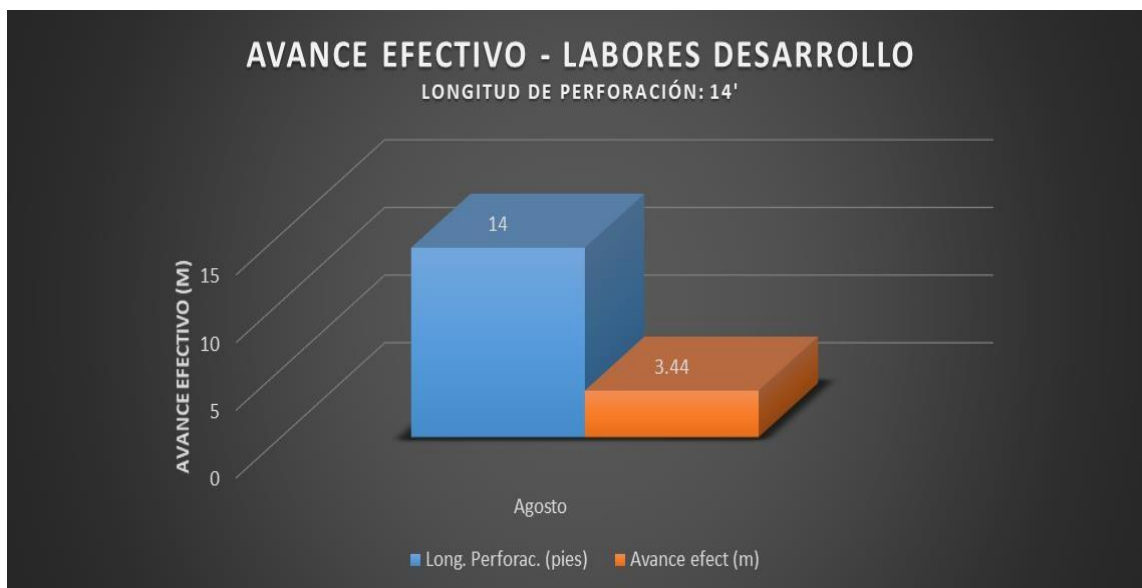
**Figura 15. Tiempo efectivo en labores de desarrollo, periodo de enero a julio**

El análisis de avance realizado en la rampa de 4.5 x 4.0 m durante el periodo de enero a julio considera un promedio de longitud de perforación por disparo de 12 pies, con un promedio de tiempo de perforación en 4.59 horas, un promedio de 146.28 metros perforados y un avance efectivo promedio de 2.96 metros.

b) Periodo de agosto – 14 pies

**Tabla 30. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio**

AVANCE EFECTIVO - LABORES DE AVANCE					
JUMBO: 14 PIES					
Mes	Long. Perforac. (pies)	N° Taladros (und)	Horas Perfor (hrs)	Metros perfor. (m)	Avance efec (m)
Agosto	14	31.50	3.80	140.50	3.44
<b>PROMEDIO</b>	<b>14.00</b>	<b>31.50</b>	<b>3.80</b>	<b>140.50</b>	<b>3.44</b>



**Figura 15. Avance efectivo en labores de desarrollo, periodo de agosto**



**Figura 15. Tiempo efectivo de perforación en labores de desarrollo, periodo de agosto**

El análisis de avance realizado en la rampa de 4.5 x 4.0 m, durante el periodo de agosto, consideran un promedio de longitud de perforación por disparo de 14 pies, con un promedio de tiempo de perforación en 3.80 horas, un promedio de 140.50 metros perforados y un avance efectivo promedio de 3.44 metros.

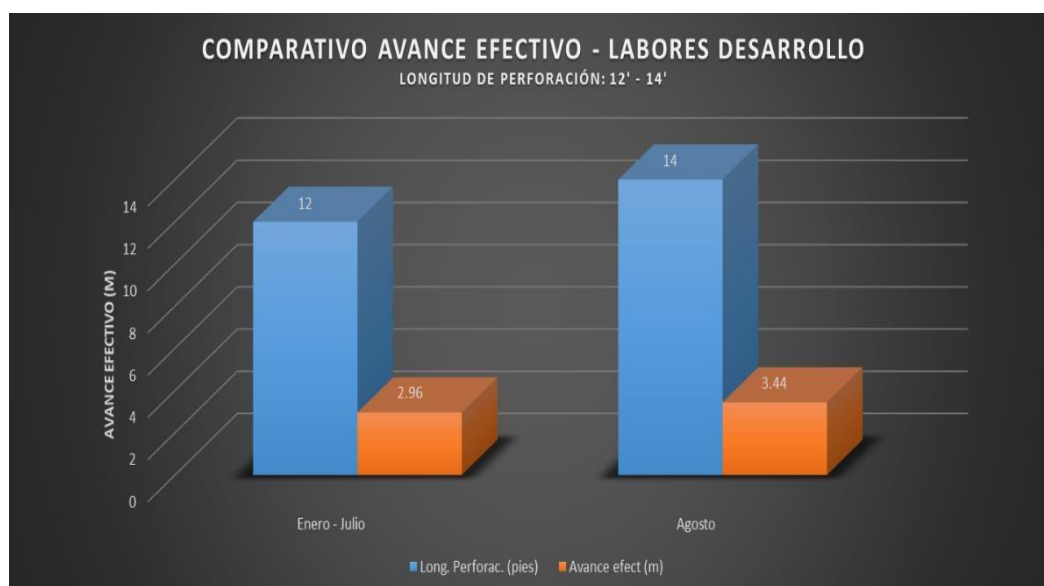
#### 4.5 Validación de la hipótesis – rampa 4.5 X 4.0

Durante el tiempo de estudio, periodos de enero a julio (12 pies) y periodo de agosto (14 pies), se comparó el escenario inicial (enero a julio) y el escenario optimizado (agosto), considerando la mejora en el avance efectivo y la mejora en el tiempo y costo asociado.

**Tabla 31. Avance efectivo en labores de avance, periodo enero a julio**

COMPARATIVO DE AVANCE EFECTIVO - LABORES DE AVANCE							
JUMBO: 12 - 14 PIES							
Periodo	Long. Perforac. (pies)	N° Taladros (und)	Horas Perfor (hrs)	Metros perfor. (m)	Avance efec (m)	Costo unitario (US \$/m)	Costo total (US \$/disparo)
Enero - Julio	12	37.99	4.59	146.28	2.96	120.54	357.31
Agosto	14	31.50	3.80	140.50	3.44	90.95	313.26
Optimización	2	6.50	0.78	5.79	0.48	29.58	44.05

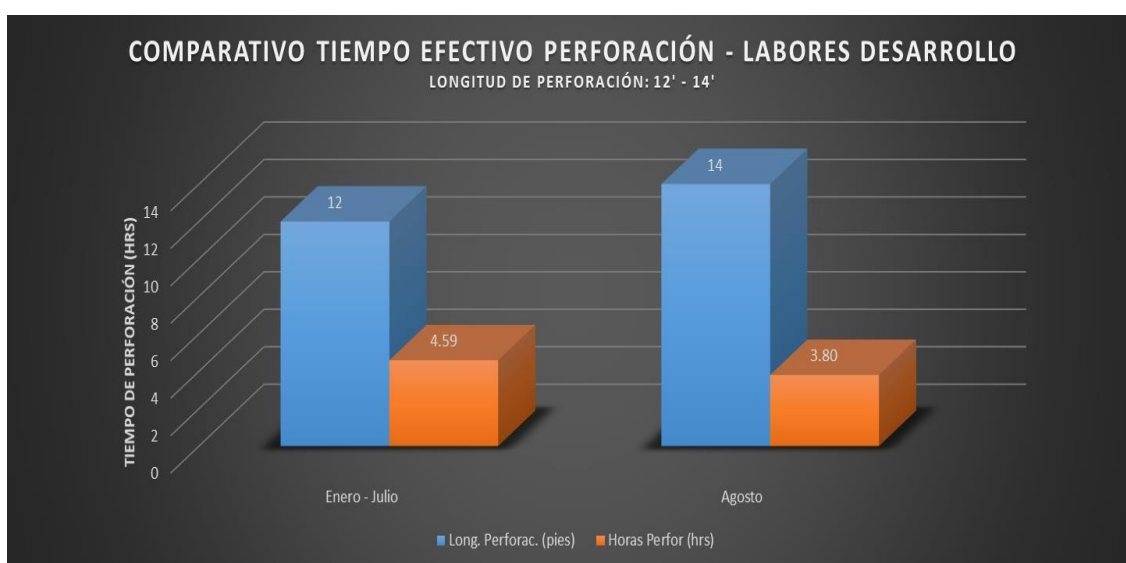
#### a) Validación en la mejora del avance efectivo



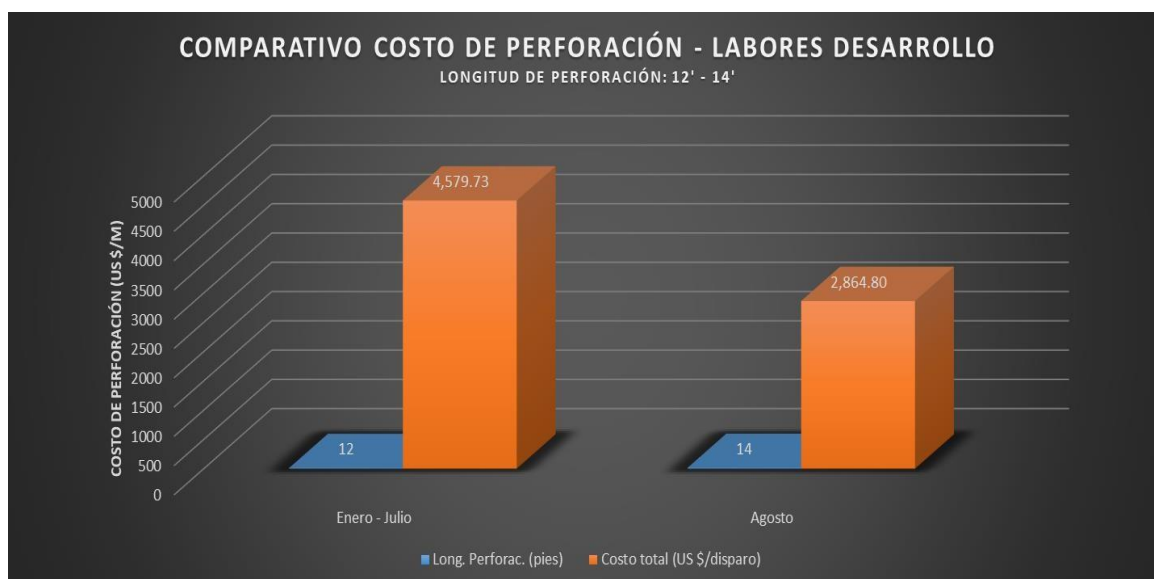
**Figura 15. Comparativo de avance efectivo en labores de desarrollo**

El promedio de avance efectivo durante el periodo de enero a julio fue de 2.96 metros, considerando longitudes de perforación de 12 pies y el avance efectivo durante el periodo de agosto fue de 3.44 metros, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La mejora del avance efectivo durante el segundo periodo de estudio, considero un incremento de 0.48 m/disparo, considerando longitudes de perforación de 12 pies.

b) Validación en la reducción de tiempo y costos



**Figura 15. Comparativo de tiempo efectivo de perforación en labores de desarrollo**



**Figura 15. Comparativo de costo de perforación en labores de desarrollo**



El promedio de tiempo efectivo durante el periodo de enero a julio fue de 4.59 horas, considerando longitudes de perforación de 12 pies. Por otro lado, el avance efectivo durante el periodo de agosto fue de 3.80 horas, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La mejora del tiempo efectivo durante el segundo periodo de estudio, considero una disminución de 0.78 h/disparo con longitudes de perforación de 14 pies.

Finalmente, el costo promedio de perforación durante el periodo de enero a julio fue de 357.31 \$/disparo, considerando longitudes de perforación de 12 pies y el costo promedio de perforación durante el periodo de agosto fue de 313.26 \$/disparo, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La reducción del costo de perforación durante el segundo periodo de estudio, considero una disminución de 44.05 \$/disparo con longitudes de perforación de 14 pies.

## CONCLUSIONES

1. Durante el análisis de la estructura de costos en frentes de avance se evalúa los ítems de mano de obra, aceros de perforación, herramientas, implementos de seguridad, equipos jumbo y scooptram, así como el costo de cuneta, considerando como trabajos primordiales para la perforación y voladura en rampas, frentes, *by pass*, etc.
2. Para el mejoramiento en el avance de los frentes de desarrollo, se tuvo que cambiar la barra de 12 pies a 14 pies considerando un incremento de avance de 2.96 metros a 3.44 metros por disparo respectivamente, con un incremento de 0.48 metros/disparo.
3. La adquisición de equipos de perforación (jumbo) y de limpieza (scoops) nuevos involucró la capacitación de los operadores y ayudantes, considerando un mejor uso de los equipos.
4. El costo total por metro lineal en rampas de 4.5 x 4.0 considerando longitudes de perforación de 12' y 14' fueron de 1,321.33 S/m y de 1,163.20 S/m respectivamente, la mejora en la reducción de costos considerando longitudes de perforación de 14' fue de 158.13 S/m.
5. El costo total directo en perforaciones de 12' y 14' fueron de 1,161.75 S/m y de 1,024.02 S/m respectivamente, con una reducción de 137.73 S/m, incidiendo directamente en los costos de avance en rampas de 4.5 m x 4.0 m.
6. El costo de explosivos y accesorios de voladura, considerando longitudes de perforación de 12' y 14' fueron de 212.67 S/m y 219.66 S/m respectivamente, este mayor incremento en la cantidad de explosivos fueron de 6.99 S/m, está relacionado al incremento de metros perforados.

7. El costo de consumo de combustible se redujo de 60.83 S/m a 52.14 S/m en taladros de 12' y 14' respectivamente, con una reducción de 8.69 S/m, esto es producto del uso de scoops de 6 yd<sup>3</sup>.
8. El análisis de cantidad de kilogramos de explosivo en el desarrollo de rampas de 4.5 x 4.0 m considerando longitudes de perforación de 12' y 14' fueron de 104.7 kg y 112.9 kg. respectivamente, este mayor incremento de consumo de kilogramos de explosivo en 8.2 kg/disparo fue por la mayor cantidad de metros perforados.
9. La comparación del plan ejecutado del año 2019 y del año 2020 indica una diferencia de 2,470 metros lineales a favor del plan ejecutado del año 2020 ya que a inicios de ese año se realizó el aumento de la longitud de los frentes de avance con el cambio de barra de 14 pies, la optimización del costo total por unidad valorizada para la mejora de dichos metros lineales es de 399,964 nuevos soles para el año 2020 respectivamente.
10. En cada frente de avance se perforan 45 taladros, el tiempo de perforación para el año 2019 fue de 165.75 minutos y para el año 2020 fue de 151.50 minutos, la velocidad de perforación ayuda a reducir el tiempo de perforación en los frentes de avance gracias a las mejoras operativas, el tiempo se redujo en 14 minutos en los 45 taladros perforados.
11. Durante el estudio, el promedio de avance efectivo durante el periodo de enero a julio fue de 2.96 metros, considerando longitudes de perforación de 12 pies y el avance efectivo durante el periodo de agosto fue de 3.44 metros, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La mejora del avance efectivo durante el segundo periodo de estudio, considero un incremento de 0.48 m/disparo, considerando longitudes de perforación de 14 pies.
12. El promedio de tiempo efectivo durante el periodo de enero a julio fue de 4.59 horas, considerando longitudes de perforación de 12 pies y el avance efectivo

durante el periodo de agosto fue de 3.80 horas, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La mejora del tiempo efectivo durante el segundo periodo de estudio, considero una disminución de 0.78 hrs/disparo con longitudes de perforación de 14 pies.

13. Finalmente, el costo promedio de perforación durante el periodo de enero a julio fue de 357.31 \$/disparo, considerando longitudes de perforación de 12 pies y el costo promedio de perforación durante el periodo de agosto fue de 313.26 \$/disparo, considerando longitudes de perforación de 14 pies. La reducción del costo de perforación durante el segundo periodo de estudio, considero una disminución de 44.05 \$/disparo con longitudes de perforación de 14 pies.

## RECOMENDACIONES

1. La estabilidad del *bypass*, ventanas y subniveles de preparación cuentan con un factor de seguridad de 1.5 a más los cuales se debe realizar el sostenimiento con shotcrete 2" más pernos Swellex 7' espaciados a 1.70 m para minimizar los esfuerzos inducidos.
2. En la perforación y voladura, realizar capacitaciones semanales, considerando el rendimiento del personal en los equipos (jumbo y scooptram) para minimizar las malas prácticas de operación, al igual al personal encargado de la voladura para reducir deficiencias en pérdidas de material como de avance lineal producto de voladuras secundarias.
3. Al realizar una evaluación con moneda nacional se debe tener en cuenta el tipo de cambio en ese año de evaluación para evitar errores que no se ajusta a la realidad del cálculo en la estructura del costo total por metro lineal.
4. Se tiene que llevar un control de los aceros de perforación, considerando que al hacer un cambio en la barra, los parámetros y factores de perforación del equipo jumbo van a cambiar, por ello se debe de capacitar al operador como al ayudante a fin de evitar pérdidas de operación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROMERO, Niki. Introducción Optimización de la perforación y voladura para minimizar costos en la construcción de la rampa (-) 4640 de la mina Pallca, compañía minera Santa Luisa S.A.C. - 2018. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2018, 96 pp.
2. GARRIDO, Juan. Análisis Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina Animon. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.
3. DIAZ, Esthiben. Optimización de la perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda. – 2016. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2017.
4. QUIROZ, Juan. Optimización de los estándares de perforación y voladura para incrementar la producción en la Unidad Andaychagua Compañía Minera Volcán. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2014.
5. TAPIA, Whalter. Optimización de la producción y avance mediante diseño de perforación y voladura en rampa 650 en la empresa especializada IESA S.A. CIA Minera Ares S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2015.
6. GALVAN, Ciro. Influencia de las Normas de Seguridad y Salud Ocupacional en la Disminución de Accidentes Mortales en el Sector Minero. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

7. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA. Informe Geología recursos y reservas de la Unidad Minera Huarón. Pasco: Pan American Silver Huarón S.A, 2018.
8. DEPARTAMENTO DE PLANEAMIENTO. Informe de planeamiento a largo plazo. Pasco: Pan American Silver Huarón S.A., 2019.
9. DEPARTAMENTO DE VENTILACIÓN MINA. Informe de ventilación mina. Pasco : Pan American Silver Huarón S.A., 2019.

## **ANEXOS**



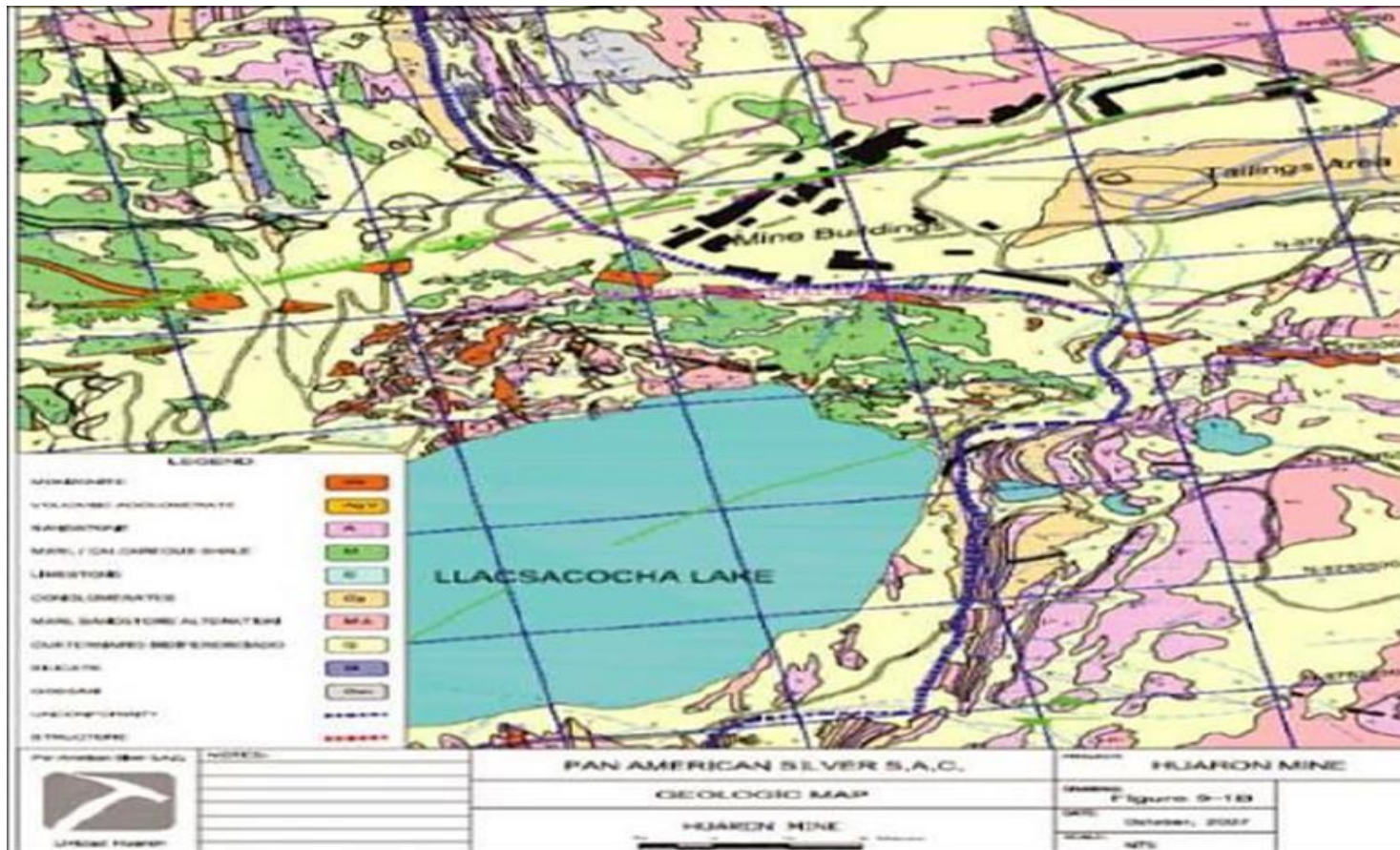
## Anexo 1

### Matriz de operacionalización de variables

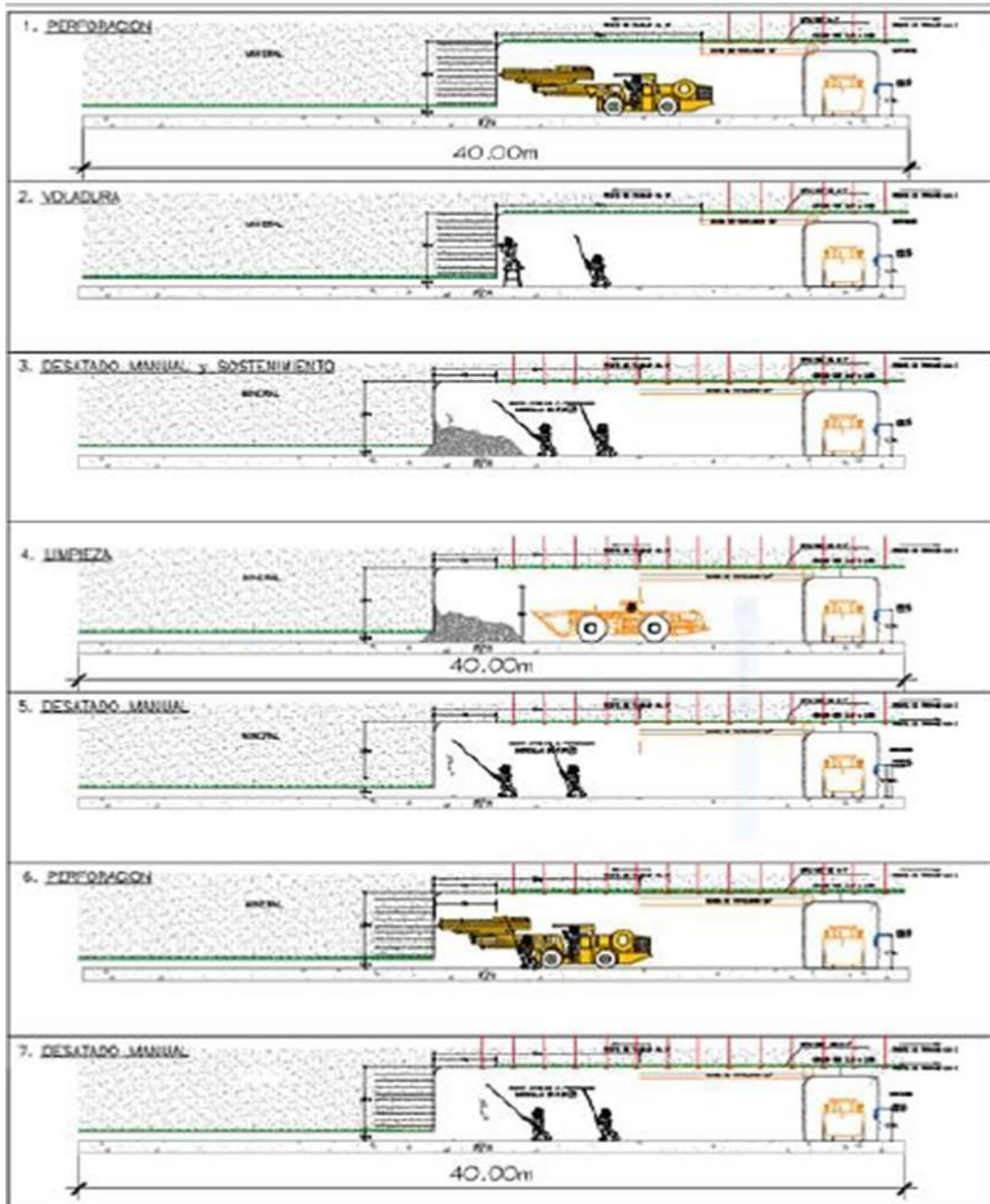
Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I.: Evaluación técnica económica de los frentes de avances.	Es el análisis de parámetros y factores de los equipos utilizados, en la perforación el jumbo y en la limpieza el scooptram primordiales para el avance de las labores en preparación o de desarrollo, cuya justificación factible y viable es por medio del análisis del flujo de caja y el análisis de sensibilidad.	Evaluación económica del equipo de perforación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo horario del equipo (\$/h)</li> <li>• Costo del metro perforación (\$/m)</li> </ul>
		Evaluación económica del equipo de limpieza scooptram	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo horario del equipo (\$/h)</li> <li>• Distancia de acarreo (m)</li> </ul>
V.D.: Reducción de costos por disparo.	Es la minimización del costo de perforación y voladura como también el costo de limpieza por medio de un análisis comparativo de ambos costos, del antes y después se contará con un panorama específico para la toma de decisiones óptimas para el proyecto minero.	Evaluación del precio unitario por actividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo de perforación (\$)</li> <li>• Costos de voladura</li> <li>• Costo de limpieza</li> </ul>
		Evaluación del avance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de días por año</li> <li>• Metros de avance(m)</li> </ul>
		Evaluación del flujo de caja económico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VAN</li> <li>• TIR</li> <li>• Radio Beneficio Costo</li> </ul>
		Evaluación del análisis de sensibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variación de ventas (%)</li> <li>• Variación en gastos (%)</li> </ul>

## Anexo 2

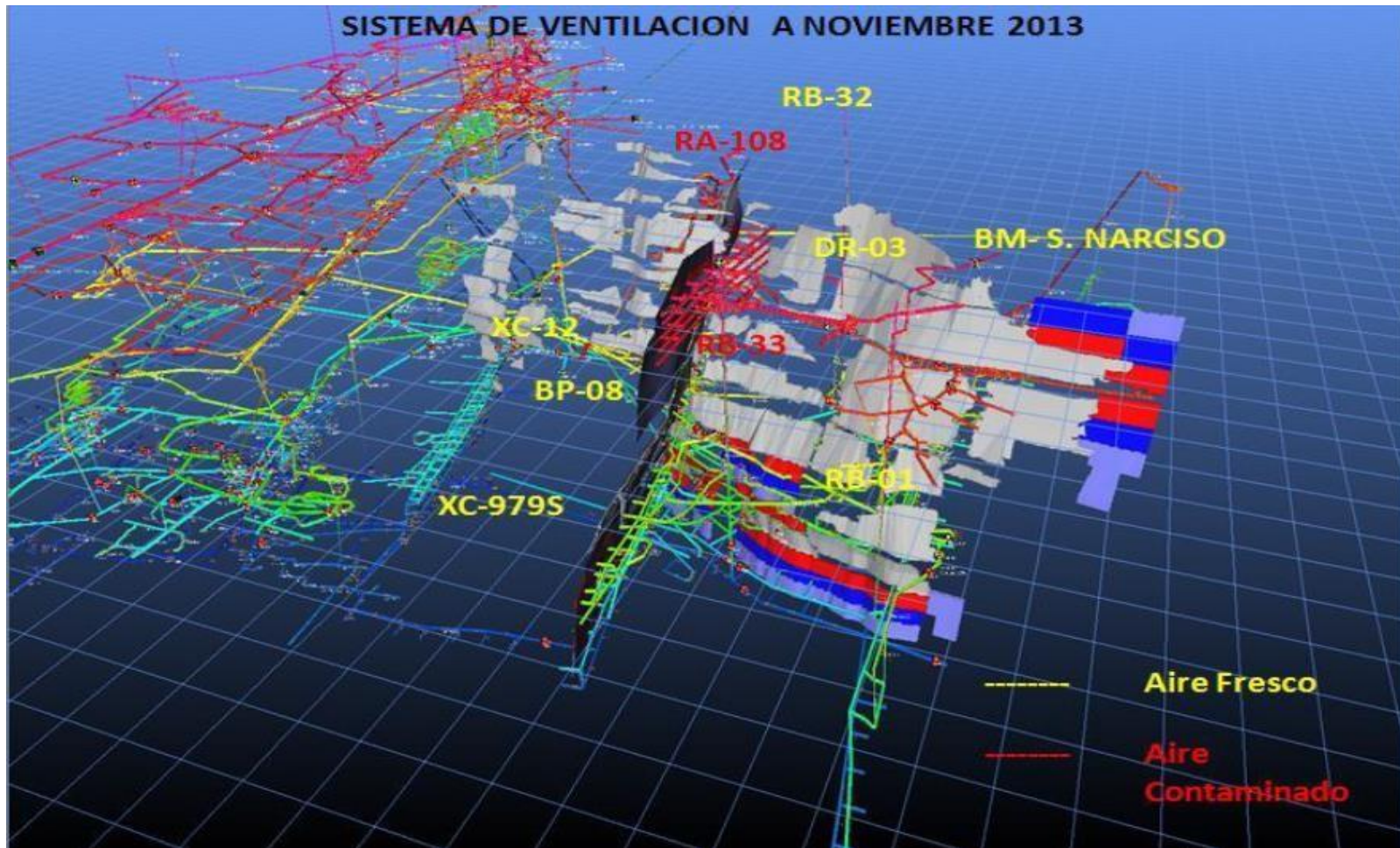
### Planos en planta y perfil



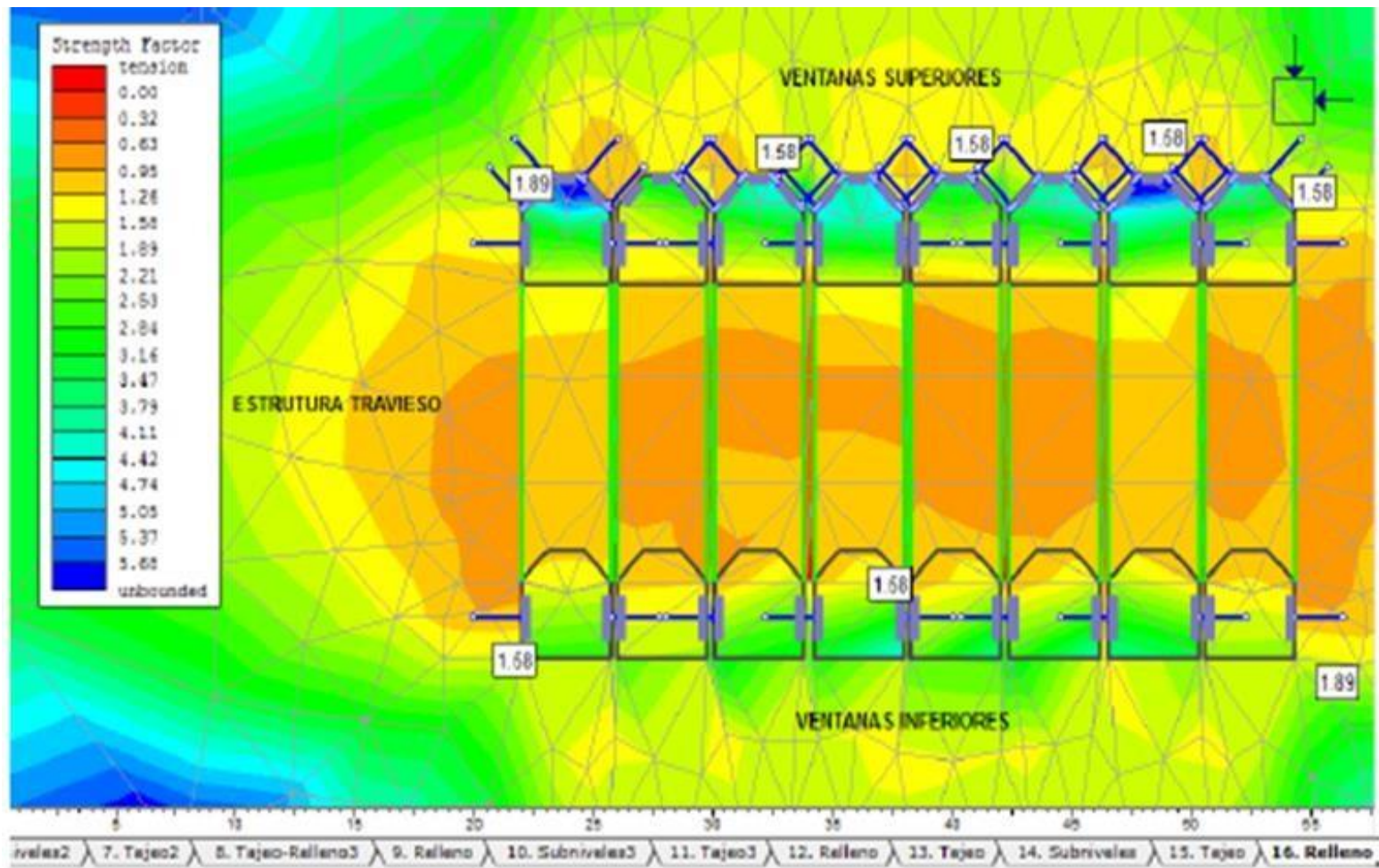
*Sistemas de fallas, unidad minera Huarón  
Tomada del Departamento de Geología*



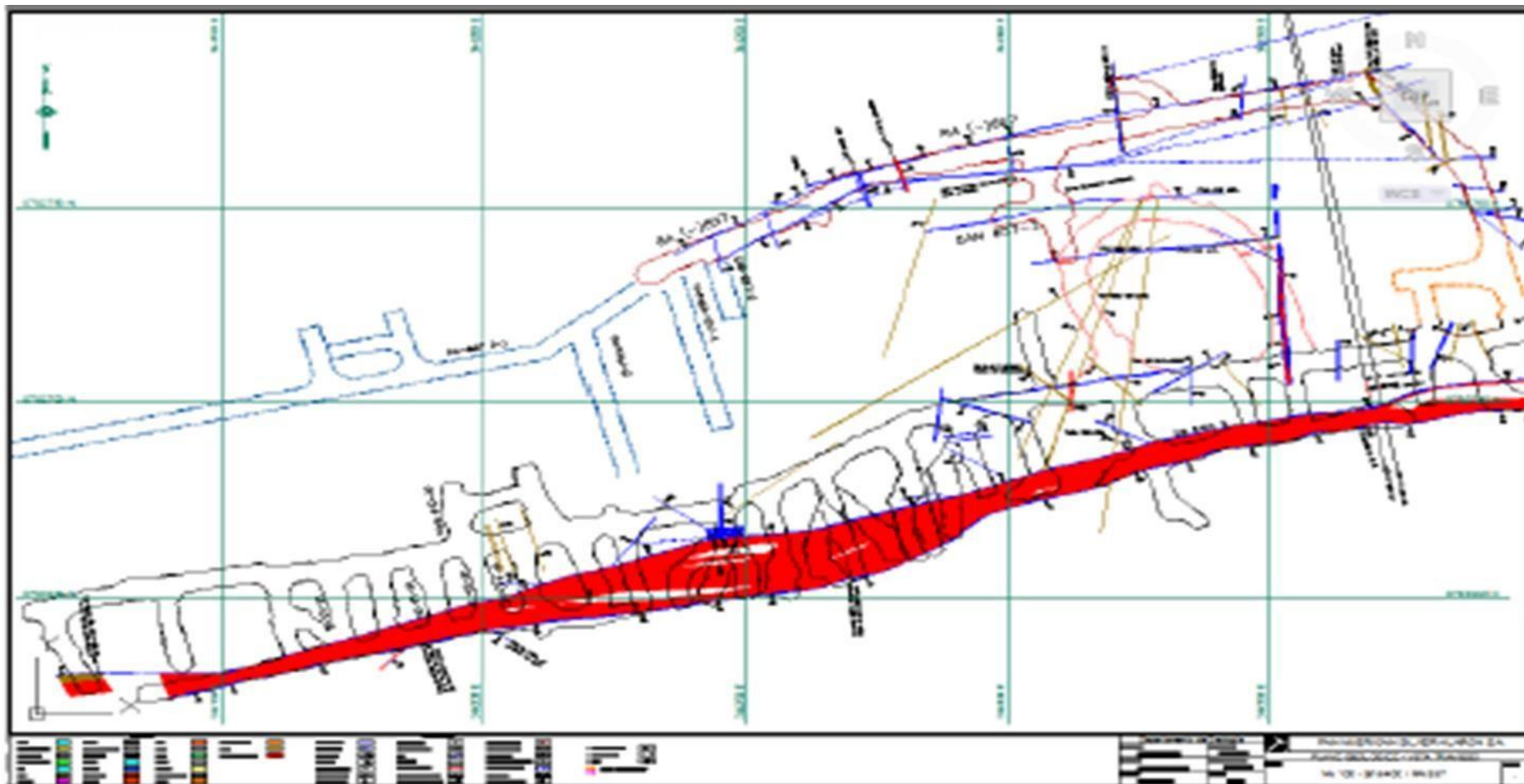
**Secuencia de minado, corte y relleno ascendente.  
Tomada del Departamento de Planeamiento**



*Diseño del circuito de ventilación, Unidad Minera Huarón  
Tomada del Departamento de Ventilación*



*Factor de seguridad, labores de desarrollo y preparación, veta Travieso  
Tomada del Departamento de Geomecánica*



*Plano de labores, unidad minera Huarón  
Tomada del Departamento de Operaciones*