



# FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

“DISEÑO Y APLICACIÓN DE UNA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LOS COSTOS EN UNA UNIDAD MINERA DE LA LIBERTAD – 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

**Autores:**

Gilmer Andres Saucedo Linares

Romel Andy Zegarra Chavez

**Asesor:**

Mg. Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñon

Cajamarca - Perú

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. A mis padres y hermanos por su apoyo permanente, que me motivan día a día a continuar.

**SAUCEDO LINARES GILMER ANDRES**

A Dios por darme la oportunidad de vivir y por las fuerzas que me da cada día para seguir con mis metas. A mi familia que me da su cariño cada día.

**ROMEL ANDY ZEGARRA CHAVEZ**

## AGRADECIMIENTO

Nuestra gratitud, principalmente está dirigida a Dios por habernos dado la existencia, darnos las fuerzas necesarias en los momentos más difíciles y por habernos permitido lograr unos de los pasos más ansiados en nuestra vida profesional.

A todos los docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas, por sus conocimientos y consejos brindados, especialmente al Ing. **Rafael Ocas Boñon** por el apoyo constante al desarrollo de esta Investigación.

Y al Ing. **Shonel Miguel Cáceres Pérez**, por el apoyo para el desarrollo de este trabajo, que se realizará bajo su dirección.

Los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>13</b>
<b>1      CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 Realidad problemática.....	14
1.2 Formulación del problema .....	22
1.3 Objetivos .....	22
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	22
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	22
1.4 Hipótesis.....	23
1.4.1 <i>Hipótesis general</i> .....	23
<b>2      CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>24</b>
2.1 Tipo de investigación .....	24
2.1.1 <i>Nivel de la investigación:</i> .....	24
2.2 Población y muestra .....	26
2.2.1 <i>Población:</i> .....	26
2.2.2 <i>Muestra:</i> .....	26

2.3	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	26
2.4	Procedimiento .....	27
2.4.1	<i>Etapa de Campo:</i> .....	28
2.4.2	<i>Etapa de Gabinete o procesamiento de datos:</i> .....	37
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>109</b>
3.1	Análisis de Avance Lineal de Perforación. ....	111
3.2	Análisis de Sobre rotura / sobre dilución .....	112
3.3	Comparación de costos en el proceso de perforación y voladura .....	113
3.3.1	<i>Costo de la mano de obra.....</i>	<i>113</i>
3.3.2	<i>Costos de Perforación. ....</i>	<i>114</i>
3.3.3	<i>Costos totales de perforación y voladura.....</i>	<i>121</i>
3.3.4	<i>Análisis de los costos totales de perforación y voladura a corto-mediano plazo</i> .....	<i>123</i>
<b>4</b>	<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>128</b>
4.1	Discusión.....	128
4.2	Conclusiones .....	130
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>132</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>137</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Materiales.....	27
<b>Tabla 2</b> Información del Frente de la Galería .....	29
<b>Tabla 3</b> Explosivos y Accesorios .....	32
<b>Tabla 4</b> Accesorios de Voladura .....	33
<b>Tabla 5</b> Indicadores de Voladura .....	33
<b>Tabla 6</b> Parámetros necesarios para aplicar el modelo de Roger Holmberg .....	37
<b>Tabla 7</b> Cálculos Generales del método de Roger Holmberg.....	41
<b>Tabla 8</b> Datos del Primer Cuadrantes .....	45
<b>Tabla 9</b> Datos del Segundo Cuadrante.....	47
<b>Tabla 10</b> Datos del Tercer Cuadrante .....	50
<b>Tabla 11</b> Datos del Cuarto Cuadrante.....	52
<b>Tabla 12</b> Datos de los taladros de arrastre .....	56
<b>Tabla 13</b> Datos para hallar los taladros de corona .....	57
<b>Tabla 14</b> Taladros de Corona.....	59
<b>Tabla 15</b> Taladros cuadradores .....	61
<b>Tabla 16</b> Datos para hallar los taladros auxiliares. ....	62
<b>Tabla 17</b> Taladros Auxiliares.....	64
<b>Tabla 18</b> Datos para hallar los taladros auxiliares de corona.....	64
<b>Tabla 19</b> Taladros auxiliares de corona .....	66
<b>Tabla 20</b> Numero de taladros teóricos. ....	67

<b>Tabla 21</b>	Distribución de la Carga Explosiva .....	73
<b>Tabla 22</b>	Programa anual de desarrollo y preparación de labores. ....	82
<b>Tabla 23</b>	Programa de avances - mes de septiembre .....	83
<b>Tabla 24</b>	Parámetros de perforación obtenidos.....	85
<b>Tabla 25</b>	Costos de Mano de Obra.....	89
<b>Tabla 26</b>	Parámetros para aire comprimido .....	90
<b>Tabla 27</b>	Cálculo del costo de aire comprimido con la actual malla de perforación .....	90
<b>Tabla 28</b>	Parámetros para calcular el desgaste del barreno de perforación .....	91
<b>Tabla 29</b>	Cálculos para el desgaste del barreno de perforación (6 pies).....	91
<b>Tabla 30</b>	Parámetros para calcular el costo del desgaste de la máquina de perforación.	92
<b>Tabla 31</b>	Cálculos para el desgaste de la máquina de perforación.....	92
<b>Tabla 32</b>	Parámetros para calcular el costo del consumo de broca 38mm .....	93
<b>Tabla 33</b>	Cálculos para el costo del consumo de broca 38mm .....	93
<b>Tabla 34</b>	Parámetros para calcular el costo del consumo de broca 41mm .....	94
<b>Tabla 35</b>	Cálculos para el costo del consumo de broca 41mm .....	94
<b>Tabla 36</b>	Resumen de costos de perforación con la malla usada actualmente.....	95
<b>Tabla 37</b>	Explosivos y accesorios de voladura .....	96
<b>Tabla 38</b>	Costos de implementos de seguridad.....	97
<b>Tabla 39</b>	Resumen del costo total de perforación y voladura.....	98
<b>Tabla 40</b>	Costos de mano de obra propuesto .....	99
<b>Tabla 41</b>	Parámetros para de aire comprimido propuesta.....	100
<b>Tabla 42</b>	Cálculo del costo de aire comprimido con la malla propuesta .....	100

<b>Tabla 43</b>	Parámetros para calcular el desgaste del barreno de perforación propuesto..	101
<b>Tabla 44</b>	Cálculos para el desgaste del barreno de perforación propuesto (6 pies) .....	101
<b>Tabla 45</b>	Parámetros para calcular el costo del desgaste de la máquina de perforación propuesta.....	102
<b>Tabla 46</b>	Cálculos para el desgaste de la máquina de perforación propuesta .....	102
<b>Tabla 47</b>	Parámetros para calcular el costo del consumo de broca propuesta .....	103
<b>Tabla 48</b>	Cálculos para el costo del consumo de broca propuesta.....	103
<b>Tabla 49</b>	Parámetros para calcular el costo del consumo de broca propuesta (51mm)	104
<b>Tabla 50</b>	Cálculos para el costo del consumo de broca propuesta (51mm).....	104
<b>Tabla 51</b>	Resumen de costos de perforación con la malla propuesta.....	105
<b>Tabla 52</b>	Explosivos y accesorios de voladura .....	106
<b>Tabla 53</b>	Costos de implementos de seguridad .....	107
<b>Tabla 54</b>	Resumen del costo total de perforación y voladura propuesta .....	108
<b>Tabla 55</b>	Resultados al aplicar el método de Roger Holberg.....	109
<b>Tabla 56</b>	Análisis de avance por disparo .....	111
<b>Tabla 57</b>	Análisis de Sobre rotura/ dilución.....	112
<b>Tabla 58</b>	Comparación de costos de mano de obra malla actual vs malla propuesta ...	113
<b>Tabla 59</b>	Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla actual vs malla propuesta.....	114
<b>Tabla 60</b>	Comparación de costos de desgaste de barreno malla actual vs malla propuesta .....	115

<b>Tabla 61</b> Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla actual vs malla propuesta .....	116
<b>Tabla 62</b> Comparación de costos por consumo de brocas de 38mm malla actual vs malla propuesta.....	117
<b>Tabla 63</b> Comparación de costos por consumo de brocas de 51mm malla actual vs malla propuesta .....	118
<b>Tabla 64</b> Resumen de costos en perforación (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	119
<b>Tabla 65</b> Resumen de costos en voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	120
<b>Tabla 66</b> Avance programado para el mes de septiembre .....	123
<b>Tabla 67</b> Flujo del ahorro con respecto a la perforación y voladura.....	124
<b>Tabla 68</b> Resumen del ahorro proyectado.....	125

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b> Malla de Perforación Usada Actualmente-Sección 3x3m.....	31
<b>Ilustración 2</b> Frente número 3 veta ESPERANZA Piso labor GL 820 NE.....	35
<b>Ilustración 3</b> Frente número 6 de la veta XIMENA labor GL 970 NE .....	36
<b>Ilustración 4</b> Consideraciones para los taladros de arrastre .....	53
<b>Ilustración 5</b> Malla de perforación propuesto.....	69
<b>Ilustración 6</b> Diseño de carga para taladros de arranque y arrastre.....	71
<b>Ilustración 7</b> Diseño de carga para taladros Auxiliares.....	71
<b>Ilustración 8</b> Diseño de carga para taladros de corona y cuadradores.....	72
<b>Ilustración 9</b> Importación de la malla generada en AutoCAD a JKSimBlast .....	74
<b>Ilustración 10</b> Secuencia de salida, enmallado y retardos de la malla propuesta.....	75
<b>Ilustración 11</b> Primera Fase de la Detonación.....	76
<b>Ilustración 12</b> Segunda Fase de la Detonación.....	76
<b>Ilustración 13</b> Segunda Fase de la Detonación.....	77
<b>Ilustración 14</b> Cuarta Fase de Detonación.....	77
<b>Ilustración 15</b> Gráfica de Isotiempos.....	78
<b>Ilustración 16</b> Análisis de Datos de VPP .....	79
<b>Ilustración 17</b> Análisis de distribución de energía del explosivo (Mj/t) .....	80
<b>Ilustración 18</b> Análisis de distribución de energía del explosivo (Mj/t) .....	81
<b>Ilustración 19</b> Frente Número 3 de la Veta Esperanza, Labor GL 820 NE.....	86
<b>Ilustración 20</b> Frente Número 6 de la Veta Ximena Labor GL 970 NE .....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> Comparación de costos de mano de obra malla actual vs malla propuesta ...	113
<b>Gráfico 2</b> Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla actual vs malla propuesta.....	114
<b>Gráfico 3</b> Comparación de costos de desgaste de barreno malla actual vs malla propuesta.....	115
<b>Gráfico 4</b> Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla actual vs malla propuesta.....	116
<b>Gráfico 5</b> Comparación de costos por consumo de brocas de 38mm malla actual vs malla propuesta.....	117
<b>Gráfico 6</b> Comparación de costos por consumo de brocas de 51mm malla actual vs malla propuesta.....	118
<b>Gráfico 7</b> Resumen de costos en perforación (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	119
<b>Gráfico 8</b> Resumen de costos en voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	120
<b>Gráfico 9</b> Resumen total de costos de perforación y voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	121
<b>Gráfico 10</b> Costo total de los gastos operativos de perforación y voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.....	122

<b>Gráfico 11</b> Comparación de costos proyectados a fin de año malla actual vs malla propuesta.....	126
<b>Gráfico 12</b> ahorro proyectado a fin de año malla actual vs malla actual .....	127

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal optimizar los costos de perforación y voladura aplicando una nueva malla de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad-2021, es de tipo Cuantitativa debido a que la recolección de datos se realizó a través de mediciones numéricas durante un periodo de 7 días, la tesis consta de dos etapas, la etapa de campo, en la cual recolectamos información geología y geomecánica de la roca, determinamos el tamaño de la galería, los parámetros geométricos y la fragmentación, y en la etapa de gabinete, se diseñó la nueva malla de perforación utilizando el modelo matemático de Roger Holmberg. Obteniendo como resultados la reducción de taladros de 45 a 40, una reducción de los costos de perforación y voladura de 237.81 \$/disparo a 206.87 \$/disparo, por lo que se concluye que al implementar la nueva malla de perforación y voladura se logró optimizar de manera significativa los costos operativos en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad-2021.

**Palabras clave:** Optimización, Perforación, Voladura, Modelo Matemático, Malla de Perforación, Costos

## 1 CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 Realidad problemática

Actualmente todas las minas del mundo realizan grandes esfuerzos de ingeniería que permitan disminuir sus costos, con el objetivo de lograr la optimización de las operaciones unitarias y la reducción de los costos operativos de la perforación, voladura y por ende de todo el ciclo de minado y así obtener mayores márgenes de beneficio. (Jáuregui, 2009, p. 4).

Dentro del ciclo de minado, la actividad de perforación y voladura es de vital importancia, es por ello que, continuamente se van generando cambios con el fin de obtener una mejora. Hoy en día los principales problemas que se generan en los frentes de avance son debido a estas dos actividades que traen consigo cuantiosas pérdidas económicas para la unidad minera. (De La Cruz, 2018, p. 1).

Estas operaciones se basan, en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos y accesorios de voladura que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación y desplazamiento del macizo rocoso, controlando y reduciendo los niveles de vibración, de proyección de material y de onda aérea.

Según Bernaola, et. al (2013) existe una relación intrínseca entre estos dos procesos, ya que puede afirmarse categóricamente que “una buena perforación posibilita una buena voladura y por el contrario una mala perforación asegura una mala voladura”. (pág. 5)

La importancia de un buen diseño de malla de perforación consiste en que ningún sistema de voladura será exitoso si los taladros están mal distribuidos, es decir, si el burden y espaciamiento están mal calculados, o si el diámetro de taladro es incorrecto, o si la profundidad es insuficiente para obtener los resultados deseados, etc. La perforación incorrecta puede también ser la causa del aumento de costos a lo largo de las siguientes etapas del trabajo, como el carguío, transporte y los procesos de conminución.

(Engineers, Manual del Especialista en Voladura, 2008)

Exsa (2017) en su libro “Manual Práctico de Voladura” nos dice que, para conseguir una voladura eficiente adicional a realizar un correcto diseño de perforación se le suma la adecuada selección del explosivo y de sus accesorios iniciadores. (pág. 75)

Desafortunadamente, la supervisión de la correcta operación de perforación y voladura aún no está completamente implementado en muchas minas, lo que conduce a defectos en la calidad del trabajo (taladros desviados, mal espaciados, de longitud irregular, etc.) que ocasionan pérdidas tanto económicas como en la productividad.

Producto de la optimización de la perforación y voladura, es la obtención de un incremento en los indicadores de productividad tales como toneladas rotas por disparo TM/disparo, toneladas rotas por taladro TM/taladro, metros avanzados por disparo ML/disparo, factor de carga kg/m<sup>3</sup>, factor de avance kg/ML, toneladas rotas por metro perforado TM/m, eliminación de la posibilidad de existencia de tiros cortados o soplados, eliminación de bolones que necesitan ser movidos y corregidos mediante voladura secundaria. (Umaña, 2014, p.77)

El presente trabajo de investigación se llevará a cabo en una unidad minera subterránea, clasificada como mediana minería, ubicada en el distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad sobre los 4250 m.s.n.m, El área de estudio comprende a las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20, específicamente a las labores que tienen programada su ejecución para el mes de septiembre del 2021.

El problema principal radica es que los procedimientos de perforación y voladura actualmente se están desarrollando empíricamente debido a que la unidad minera no cuenta con un diseño de malla de perforación establecido, por lo que se realizan de acuerdo con el criterio y experiencia del maestro perforista, lo que genera una serie de consecuencias negativas para la productividad de la operación.

En primer lugar, no se logra el avance proyectado por disparo, lo que retrasa el desarrollo de las labores y aumenta los costos de perforación y voladura, ya que al tener un avance menor se necesitan de más disparos para cumplir con los metros de avance proyectados y, por otro lado, reduce el volumen diario de material que se debería mover, lo que afecta directamente el plan de producción a corto y mediano plazo.

Otro inconveniente que se presenta es la ineficiente fragmentación y desplazamiento de la roca, observándose la existencia de gruesos en la pila de material volado, lo que conlleva directamente a demoras operativas y un aumento de costos en las operaciones de carguío y acarreo de material.

Además, en el proceso de perforación se evidencia un gran número de taladros perforados con relación al área de la labor y al tipo de roca predominante, así como una incorrecta distribución de estos en el frente de trabajo y un elevado consumo de explosivos y accesorios de voladura generando así altos costos para la unidad minera.

Finalmente, en el proceso de voladura, en algunas ocasiones se tiene la presencia de tiros cortados y de tiros soplados. Esto podría deberse al incorrecto cebado y carguío de los explosivos por parte de los ayudantes o también por la incorrecta secuencia de salida de los taladros.

Por tal motivo, la investigación planteada tiene como propósito mejorar significativamente los procesos unitarios de perforación y voladura que se vienen desarrollando actualmente en la Unidad Minera Subterránea. Asimismo, los resultados del estudio proporcionarán a la empresa minera una nueva malla de perforación basada en el modelo matemático de Roger Holmberg y, por otro lado, un nuevo diseño de carga, con explosivos y accesorios de voladura que estén acorde a las características geomecánicas del macizo rocoso y a los resultados de fragmentación esperados. También ayudará a mitigar los problemas anteriormente descritos y sobre todo será posible optimizar los costos operativos de estas dos actividades en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de la UM.

A continuación, presentamos los antecedentes de nuestra investigación científica.

Según, Chipana, (2015) en su tesis: “Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A.” Tuvo como objetivo determinar el diseño de malla de

perforación y la carga explosiva adecuada para reducir los costos en la ejecución de la Galería Progreso, La metodología que se usó en esta investigación consistió en la evaluación de las operaciones de perforación y voladura de la Galería Progreso y la ejecución de su etapa inicial y posteriormente se seleccionó un nuevo diseño de malla de perforación y selección de carga explosiva utilizada, finalmente estos resultados se han comparado para encontrar la reducción de costos de perforación y voladura en la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A. Concluyendo que la determinación del diseño de la malla de perforación y la carga explosiva adecuada, ha reducido los costos en la ejecución de la Galería Progreso de US\$ 294,9 a US\$ 235,64.

Según, (Rojas & Flores, 2017) en su tesis “Diseño de Malla de Perforación y Voladura Para la Reducción de Costos en el Nivel 1590 Crucero 520 de la U.E.A. Capitana – Corporación Laces S.A.C. Minería Y Construcción - Caraveli – Arequipa” cuyo problema investigado fue ¿En qué medida el diseño de malla de perforación y voladura adecuada reduce los costos en el nivel 1590 crucero 520?, su objetivo fue determinar el diseño de malla de perforación y voladura adecuado para la reducción de costos. Tuvo como conclusión que, con el nuevo diseño de malla se puede reducir de 34 a 27 taladros, lo cual representa una disminución de costos de 181.11 \$/MI a 157.97 \$/MI. Por otro lado, se determinó una reducción de costos de explosivos de 78.92 \$/MI a 62.92 \$/MI obteniendo una reducción de 15.76 \$/MI.

Según, Mendieta (2019), en su tesis “Aplicación del Método Holmberg Para Optimizar I-A Mali-A de Perforación y Voladura en I-A Galería 218 NW, del Nivel 610 -

Mina Acchilla, U.E.A. Julcani, Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.” La investigación se inició con la identificación de las partes que ayudan a diseñar una malla de perforación, analizar qué tan influyente es la geomecánica en el diseño. Con lo que se logró optimizar la malla de perforación y voladura por el método Roger Holmberg obteniendo un ahorro de 3.78 US\$/TM a 2.94 US\$/TM en el caso de la perforación y en la voladura se reduce de 8.37 US\$/TM a 5.62 US\$/TM.

Según el tesista, Jáuregui (2009), en su tesis “Reducción de los Costos Operativos en Mina, Mediante la Optimización de los Estándares de las Operaciones Unitarias de Perforación y Voladura” tuvo como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos operativos en una empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en sus principales operaciones unitarias de minado que son la perforación y voladura, asegurando de esta manera el éxito de todo el ciclo de minado. Llegando a la conclusión que en voladura la reducción del costo es 0.28 \$/TM es decir una reducción del costo de 252 000 \$ al año, del mismo modo en perforación la reducción del costo es 0.37 \$/TM es decir una reducción del costo de 333 000 \$ al año.

Según, De La Cruz (2018), en su tesis “Optimización de Costos en Perforación y Voladura Estandarizando Malla Para Sección 2.40m X 2.40m en la Empresa Cancer E.I.R.L. – Marsa” el cual tuvo como objetivo optimizar los costos de perforación y voladura mediante la estandarización de malla, se buscó el desarrollo del mejoramiento de la malla de voladura aplicando el método de Holmberg, para hacer de esa manera más rentable económicamente la operación, para iniciar el proyecto se ha tomado como muestra el XC 10318- SW y GAL 10299-S ubicados en el Nv. 2670 – Cámara 21, la

mallas anteriores empleadas contaban con 42 taladros y en la nueva malla se tiene 39 taladros optimizando costos y tiempo, a la vez se tuvo una disminución en el consumo de explosivos de S/. 215.30 a S/. 175.20 por metro lineal avanzado, también se obtuvo una eficiencia en avance de 1.51m. a 1.59 m. y disminución respecto a la incidencia de disparos fallados del 1.03 % al 0.54%, Como conclusión se encontró que el desarrollo del mejoramiento de la malla de voladura tiene como resultado la reducción de costos operativos por metro lineal de S/. 86.61.

Según, Larijo (2019) en su tesis, “Minimización de Costos de Perforación y Voladura Mediante el Nuevo Diseño de Malla en el Desarrollo del Crucero 627 de la Minera Yanaquihua Sac – Arequipa” evaluó las operaciones de perforación y voladura que se venían realizando en el desarrollo del Crucero 627 con sección de 2.40m x 2.70m con el objetivo de reducir los costos al aplicar un nuevo diseño de malla. Para lograr esto el tesista ha realizado pruebas durante 10 días, es decir, 20 turnos, evaluando el número de taladros, los parámetros de diseño, el trazo de perforación, tipo y cantidad de explosivos a utilizar para después comparar el diseño existente con el diseño propuesto. El principal resultado es una reducción de número de taladros perforados de 39 a 35, lo que influye directamente en el costo de perforación y voladura, logrando reducir de 242.92 US\$/m a 215.83 US\$/m, evidenciándose una diferencia de 27.09 US\$/m en el desarrollo de la operación.

Quezada (2017) En su tesis, “Optimización de Perforación y Voladura Aplicando el Modelo Matemático de Roger Holmberg en Frentes de 3.5m\*3m En Roca Tipo II Veta Papagayo. Mina Poderosa. 2017” tuvo como problema principal que en esta unidad

minera se registran mensualmente un promedio de 6 tiros cortados, 10 tiros soplados, bajo rendimiento o avance por disparo acompañado del consumo excesivo de explosivo y aceros, sobre rotura en las labores y demoras en colocación de sostenimiento por superficies irregulares. Todo ello incrementa los costos de la operación y retrasa el avance programado mensualmente. El tesista decide aplicar el modelo matemático de Roger Holmberg llegando a la conclusión de que este modelo ha permitido reducir la cantidad de explosivo por disparo, reducción de consumo de aceros de perforación, reducción de disparos soplados, disparos anillados y tiros cortados, reducción de la cantidad de taladros a perforar; todo ello disminuyó el costo de estas operaciones unitarias por metro lineal de 715.55 US\$/m a 586.31 US\$/m además de incrementar el avance por disparo de 1.43 m a 1.7 m.

## **1.2 Formulación del problema**

¿En qué medida se optimizarán los costos con el diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad-2021?

## **1.3 Objetivos**

### ***1.3.1 Objetivo general***

Optimizar los costos de perforación y voladura aplicando una nueva malla de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad-2021.

### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Diseñar y aplicar una nueva malla de perforación y voladura empleando la metodología de Roger Holmberg en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad – 2021.
- Analizar los resultados de fragmentación, sobre excavación y avance al aplicar una nueva malla de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad – 2021.
- Realizar un análisis comparativo de costos entre la malla de perforación y voladura propuesta y la malla empleada actualmente en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad – 2021.

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis general***

Según Hernández-Sampieri (2014), “las hipótesis son las guías de una investigación o estudio e indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno” (p.104), por lo tanto, la hipótesis en el presente estudio establece que con el diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura se logrará optimizar de manera significativa los costos de estas operaciones en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una unidad minera de La Libertad - 2021.

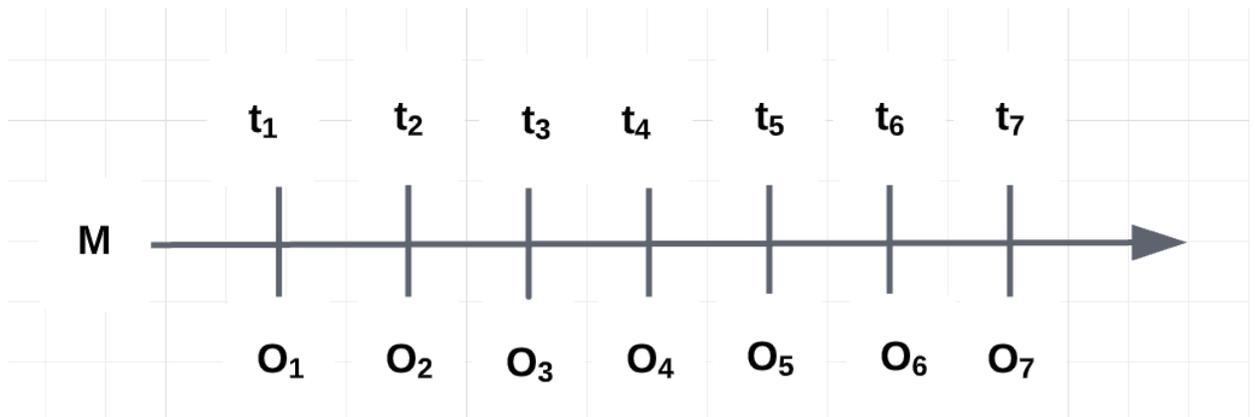
## 2 CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

Según Sampieri “una investigación del tipo cuantitativa utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías”, por lo tanto, considerando la naturaleza de los datos presentados, el tipo de investigación de la presente tesis es Cuantitativa, debido a que la recolección de datos se realizó a través de mediciones numéricas durante un periodo de 7 días en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de la Unidad Minera Subterránea, las cuales han sido analizadas con el objetivo de definir una serie de conclusiones respecto de la hipótesis planteada.

#### 2.1.1 Nivel de la investigación:

Según Hernández et al. (2014) “un diseño descriptivo longitudinal proporciona información bastante confiable de los cambios observados en la variable estudiada” el diseño de investigación que corresponde al presente trabajo es descriptivo longitudinal, puesto que, como parte del procedimiento se ha descrito y ejecutado paso a paso la metodología del modelo matemático de Roger Holmberg y es longitudinal debido a que se han realizado mediciones numéricas en diferentes tiempos, por un lapso de 7 días, con el propósito de ver si la nueva malla de perforación planteada optimiza los costos de manera significativa en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera subterránea de La Libertad, 2021.



Donde:

M: Muestra del estudio

$t_1$  a  $t_7$ : Momentos en que se hacen las observaciones

$O_1$  a  $O_7$ : observación y medición de la variable de estudio

## **2.2 Población y muestra**

### **2.2.1 Población:**

Según Hernández et al. (2014), una población es “El conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.” Por lo tanto, la población de la presente investigación son las mallas de perforación de los 12 frentes 3x3m de las labores de preparación y desarrollo que se encuentran en los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera subterránea de La Libertad, 2021.

### **2.2.2 Muestra:**

Según Hernández et al. (2014), una muestra no probabilística o dirigida “Es el subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación” para nuestro estudio hemos considerado las 7 mallas de perforación de los frentes 3x3m de las labores de preparación y desarrollo que se encuentren en los niveles de profundización 19 y 20 de la Unidad Minera subterránea de La Libertad - 2021.

## **2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

**Técnicas de recolección:** Las técnicas para la recolección de datos fueron los siguientes:

- Revisión bibliográfica
- Observación
- Recopilación de datos de campo
- Recopilación de parámetros para diseñar la malla de perforación.
- Manejo de software

**Materiales:** En la tabla N°1 se muestra la lista de los materiales utilizados para realizar la investigación.

**Tabla 1**

*Materiales*

Ítems	Materiales
1	Hojas A4
2	Flexómetro
3	Tablero acrílico A4
4	Lapiceros
5	Lápiz
6	Laptop
7	Cámara Fotográfica
8	Software Minero
9	Fichas técnicas

## 2.4 Procedimiento

En primer lugar, se realizó una revisión sistemática de la literatura, con el objetivo de investigar y recopilar la mayor cantidad de información posible sobre el tema en estudio.

Una vez identificado el problema de investigación, objetivos, hipótesis y la metodología, se continuará con la etapa de recolección de datos en campo y el posterior análisis estadístico de los mismos en gabinete.

### **2.4.1 Etapa de Campo:**

En primer lugar, para el desarrollo del primer objetivo específico planteado en esta investigación, La evaluación del estado actual de la unidad minera se realizó a lo largo de 7 días, específicamente en los procesos unitarios de perforación y voladura, para esto se recolectaron datos en campo de los principales parámetros que intervienen en dicha operación, para lo cual a continuación presentamos las condiciones actuales de la Perforación y Voladura en la Unidad Minera Subterránea.

#### **2.4.1.1 Características geológicas y geomecánicas de la roca.**

El área de estudio comprende a las labores de preparación y desarrollo que se encuentran en los niveles de profundización 19 y 20 de la unidad minera, los cuales se encuentran emplazados en su mayoría en roca sedimentaria, específicamente arenisca cuarzosa de tipo detrítico, siendo este un tipo de roca Regular III con un RMR de 55 según la clasificación geomecánica de Bieniaswky (1989).

#### **2.4.1.2 Dimensiones de la galería.**

La sección de los frentes de preparación y desarrollo a estudiar son de 3 m de ancho y 3 metro de alto, en los cuales se llevó a cabo el seguimiento de la perforación y voladura, observando, en primer lugar, que el maestro perforista no cuenta con una malla de perforación adecuada y solo cuenta con sus experiencias obtenidas en otras unidades mineras, por lo que hay una mala distribución de los taladros en el frente ocasionando sobre excavación e inadecuada fragmentación, tiros anillados debido a un mal espaciamiento, burden y confinamiento, tiros cortados debido al mal carguío de los explosivos y la mala preparación del cebo, un consumo

elevado de explosivos y accesorios de voladura así como desgaste de los aceros de perforación y de la vida útil de la perforadora.

### 2.4.1.3 Parámetros geométricos de la malla de perforación usada actualmente.

Se recolectaron los siguientes datos: Diámetro de los taladros cargados y de alivio, burden, espaciamiento, longitud de taco, número de taladros en el frente, longitud de perforación, desviación, entre otros, con el objetivo de analizar si estos valores son adecuados con respecto al tamaño de la labor, las características geomecánicas de la roca predominante y los resultados esperados de fragmentación y desplazamiento del material.

Como se menciona en el párrafo anterior, la unidad minera viene desarrollando su malla de perforación de manera empírica, a continuación, se muestra un resumen de los parámetros geométricos medidos en campo:

**Tabla 2**

*Información del Frente de la Galería*

INFORMACIÓN DEL FRENTE DE LA GALERIA		
Descripción	Cantidad	
# de Taladros Perforados	45	und
# de Taladros Cargados	41	und
# de Taladros Vacíos	4	und
Diámetro de perforación	38	mm
Longitud de Barra	1.83	m
Longitud de perforación	1.74	m

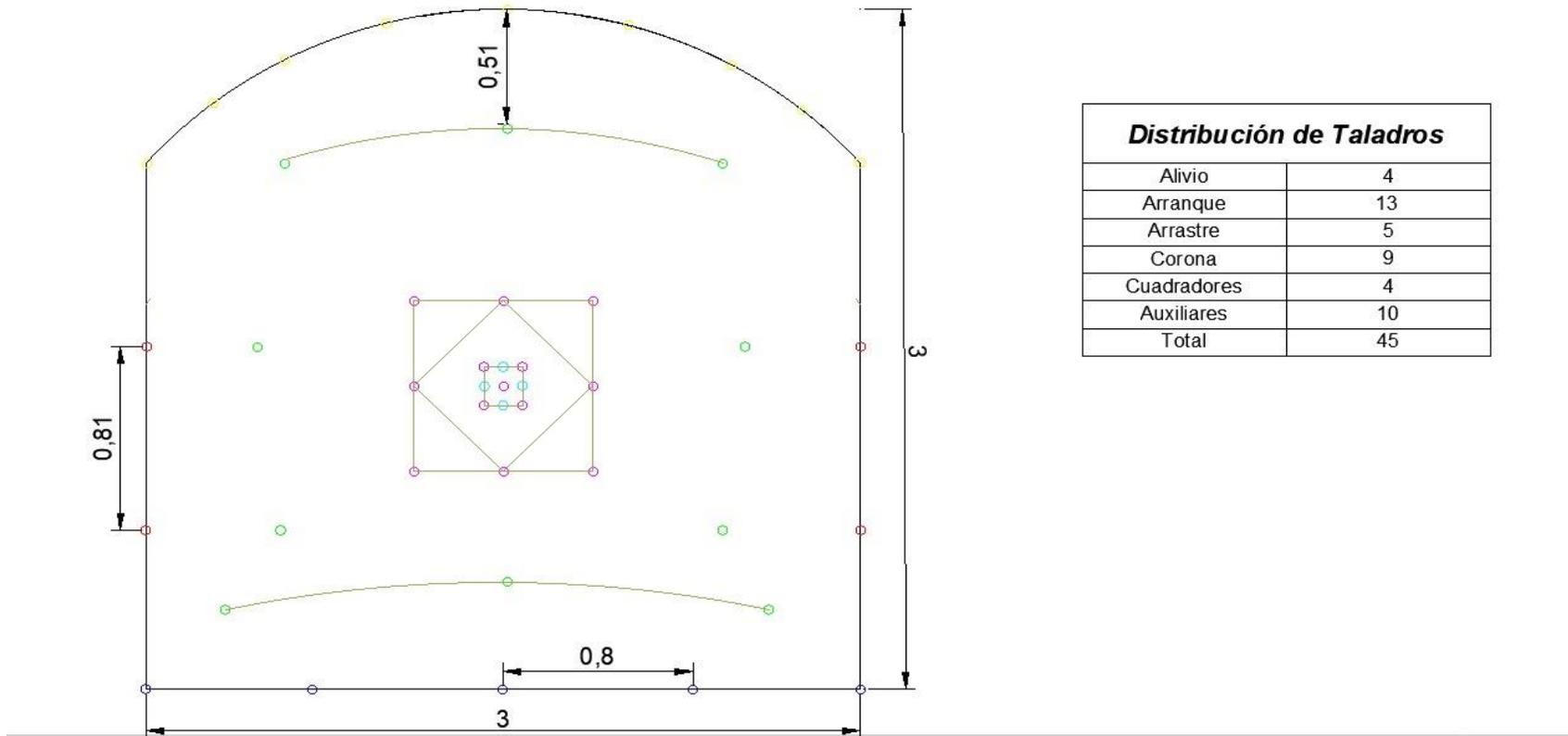
---

Eficiencia de perforación	95	%
---------------------------	----	---

---

Para mayor detalle a continuación (figura 01) se muestra un boceto de la malla de perforación actualmente en uso, donde se observa la distribución de los taladros en el frente de perforación.

## Malla de Perforación Usada Actualmente - Sección 3x3m



**Ilustración 1** Malla de Perforación Usada Actualmente-Sección 3x3m

#### 2.4.1.4 Explosivos y Accesorios.

También se recolectaron datos sobre el tipo de explosivo (densidad, VOD, presión de detonación, potencia, etc), y accesorios de voladura empleados, el factor de carga, factor de potencia, avance proyectado por disparo, toneladas removidas, etc.

**Tabla 3**

*Explosivos y Accesorios*

<b>EXPLOSIVOS EN USO</b>	<b>Semigelatina 65 1"x7" (FAMESA)</b>	<b>SUPERFAM DOS (e)</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.14	0.80
VOD (m/s)	5400	3000
Presión de Detonación (Kbar)	83	32
Potencia Relativa en Peso (%)	70	100
Presentación	240 cartuchos/caja	1 saco
Peso (Kg)	25	25
Peso / Cartucho (Kg)	0.104	-

Para la voladura en las labores de preparación y desarrollo se viene utilizando como carga de fondo 01 cartucho de Semigelatina 65 1" x 7" y para carga de columna ANFO a granel, como accesorios de voladura se usa detonadores No Eléctricos (Faneles de Corto y Largo Periodo) dependiendo del taladro, PentaCord, Carmex y, por último, mecha rápida para dar inicio a la secuencia de encendido. Para el taco se emplea el mismo detrito de la perforación y sus longitudes varían de acuerdo a la sección en la que se encuentre el taladro, teniendo un rango

desde 0.1m hasta de 1m. La cantidad de explosivo promedio empleado en un disparo es de 44 Kg.

**Tabla 4**

*Accesorios de Voladura*

<b>ACCESORIOS DE VOLADURA</b>
Detonador No Electrico (FANEL 4m corto y largo periodo)
Cordon detonante (PentaCord 3P)
Carmex (7pies)
Mecha Rápida

**Tabla 5**

*Indicadores de Voladura*

<b>INDICADORES</b>	<b>CANT.</b>
Cantidad de Explosivo (Kg)	44.60
Volumen Removido / Disparo (m3)	14.07
Toneladas / Disparo (Tn)	42.22
Factor de Carga (Kg/m3)	3.17
Factor de Potencia (Kg/Tn)	1.06
Avance por Disparo (m)	1.56
Factor de Avance (Kg/m)	28.52

Evidentemente la cantidad de explosivo utilizado en cada disparo es muy elevada en comparación al volumen (factor de carga) y el tonelaje (factor de potencia) de material volado, esta es una de las razones por las que no se llega a tener los resultados esperados y se tienen los costos de voladura elevados.

Todos estos datos fueron recolectados a través de la observación, realizando mediciones in situ, utilizando fichas técnicas de los explosivos y accesorios de voladura empleados, y realizando cálculos matemáticos simples.

#### **2.4.1.5 Fragmentación y Sobre excavación.**

Finalmente, se recolectaron datos usando una cámara que tomó fotografías de la pila de material roto y del contorno de la galería post voladura, con el fin de identificar los principales problemas tanto de fragmentación como de sobre excavación y analizar si estos resultados obtenidos son los esperados por la empresa.

Se puede apreciar el resultado de la voladura en el frente número 3 de la veta ESPERANZA Piso labor GL 820 NE del nivel 19, como se observa la fragmentación obtenida no es nada uniforme, hay presencia de rocas de gran tamaño, debido a tiros cortados, que van a requerir de una voladura secundaria y que además van a dificultar el proceso de carguío y acarreo.



**Ilustración 2** Frente número 3 veta ESPERANZA Piso labor GL 820 NE

En el frente número 6 de la veta XIMENA labor GL 970 NE del nivel 20, se puede observar que el contorno de la sección post voladura no es regular, hay presencia de voladizos en la zona de la corona y se evidencia claramente la sobre excavación en las paredes de la labor.



**Ilustración 3** Frente número 6 de la veta XIMENA labor GL 970 NE

## 2.4.2 Etapa de Gabinete o procesamiento de datos:

### 2.4.2.1 Diseño de la nueva malla de perforación y voladura aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg.

Como se mencionó al inicio de esta investigación, los diversos inconvenientes, los resultados inadecuados y los costos elevados en el proceso de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo nos llevaron a diseñar una nueva malla de Perforación y Voladura aplicando en este caso la metodología de Roger Holmberg.

El análisis de datos fue de la siguiente manera:

Se identificaron los parámetros necesarios para poder aplicar la metodología de Roger Holmberg.

**Tabla 6**

*Parámetros necesarios para aplicar el modelo de Roger Holmberg*

<b>DATOS DE LA LABOR Y EL EXPLOSIVO A EMPLEAR</b>		<b>Unidad</b>
Ancho de la labor	3	m
Altura de la labor	3	m
Ø de taladro promedio (d1)	38	mm
Ø de taladro de alivio promedio (d2)	51	mm
N° taladros de alivio	2	
Longitud de la barra de perforación	1.83	m
Eficiencia de perforación	95	%
Eficiencia de voladura	95	%
Angulo de inclinación de los taladros (Y)	3	°

---

Desviación Angular	0.01	m/m
Error de emboquillado	0.02	m
Potencia relativa por peso del explosivo (RWS)	104	%
Constante de la roca de la roca	0.4	
Calor de explosión del explosivo	3.89	MJ/kg
Densidad del explosivo	0.77	g/cm <sup>3</sup>

---

Utilizando una hoja de cálculo en Excel, se manejaron cuidadosamente los parámetros para calcular las medidas de la malla de perforación y voladura aplicando el modelo matemático planteado por Roger Holmberg.

#### 2.4.2.2 Aplicación del método de Roger Holmberg.

- **Cálculo del diámetro de taladro vacío ficticio**

$$Df = \sqrt{n} \times d_2$$

Donde:

Df: Diámetro de taladro vacío equivalente (m)

n: Numero de taladros vacíos en el corte

$d_2$ : Diámetro de los taladros vacíos (m)

Entonces:

$$Df = \sqrt{2} \times 0.051m$$

$$Df = 0.072 m$$

- **Cálculo de la profundidad de taladro teórico**

$$H = 0.15 + 34.1(Df) - 39.4(Df)^2$$

Donde:

H: Profundidad de taladro teórico (m)

Df: Diámetro de taladro vacío equivalente (m)

Entonces:

$$H = 0.15 + 34.1(0.07212) - 39.4(0.07212)^2$$

$$H = 2.40 \text{ m}$$

Esta longitud de taladro es adecuada cuando se perfora con un barreno de 8 pies por lo que podría ser usado en un futuro. Actualmente la Unidad minera utiliza barrenos de 6 pies por lo que el avance teórico no se tomara en cuenta.

- **Cálculo de la profundidad de taladro real**

$$H' = lb \times \%p$$

Donde:

H': Profundidad de taladro real (m)

Lb: Longitud de barreno (m)

%p: Eficiencia de perforación

Entonces:

$$H' = 1.83 \times 95\%$$

$$H' = 1.74 \text{ m}$$

- **Cálculo de avance**

$$I = 0.95 (H')$$

Donde:

I: Avance (m)

H': Longitud de taladro real (m)

Entonces:

$$I = 0.95 (1.74)$$

$$I = 1.65 \text{ m}$$

- **Cálculo del Taco**

$$T = 10 (d1)$$

Donde:

T: Longitud del Taco (m)

d1: Diámetro del taladro cargado (m)

Entonces:

$$T = 10 (0.038)$$

$$T = 0.380 \text{ m}$$

- **Cálculo del Error de Perforación**

$$Ep = (\alpha * H) + \beta$$

Donde:

Ep: Error de Perforación (m)

$\alpha$ : Desviación Angular (m/m)

H: Longitud del taladro (m)

$\beta$ : Error de Emboquille (m)

Entonces:

$$Ep = (0.01 * 1.74) + 0.02$$

$$Ep = 0.0374 \text{ m}$$

**Tabla 7**

*Cálculos Generales del método de Roger Holmberg*

METODO DE HOLMBERG – CALCULOS GENERALES		
ITEM	CANTIDAD	UNIDAD
Diámetro de taladro vacío equivalente	0.072	m
Longitud de taladro teórico (H)	2.40	m
Longitud de taladro real (H')	1.74	m
Avance real (I')	1.65	m
Longitud del Taco (T)	0.380	m
Error de Perforación (Ep)	0.0374	m

#### 2.4.2.2.1 *Primer cuadrante*

- **Hallando el burden máximo**

$$B_{1max} = 1.7(df)$$

Donde:

B: Burden máximo

Df: Diámetro del taladro vacío equivalente

Entonces:

$$B = 1.7(0.07212)$$

$$B = 0.123 \text{ m}$$

- **Hallando el burden practico**

$$B_{1prac} = B_{1max} - E_p$$

Donde:

B<sub>1max</sub>: Burden máximo (m)

E<sub>p</sub>: Error de perforación (m)

Entonces:

$$B_1 = 0.123 - 0.0374$$

$$B_1 = 0.085 \text{ m}$$

- **Cálculo del espaciamiento**

$$W1 = B1prac * \sqrt{2}$$

Entonces:

$$E1 = 0.085 * \sqrt{2}$$

$$E1 = 0.121 \text{ m}$$

- **Cálculo de la concentración de carga del Anfo**

$$Cc = (55 * d1) * \left(\frac{B1max}{d2}\right)^{1.5} * \left(B1max - \frac{d2}{2}\right) * \left(\frac{c}{0.4}\right) * \left(\frac{1}{RWS}\right)$$

Donde:

d1: Diámetro del taladro cargado (m)

d2: Diámetro del taladro vacío (m)

c: Constante de la roca

RWS: Potencia Relativa en Peso del Anfo.

Entonces:

$$Cc = (55 * 0.038) * \left(\frac{0.123}{0.051}\right)^{1.5} * \left(0.123 - \frac{0.051}{2}\right) * \left(\frac{0.4}{0.4}\right) * \left(\frac{1}{104\%}\right)$$

$$Cc = 0.731 \text{ Kg/m}$$

Nota: Esta concentración de carga con respecto al Anfo será utilizado en todos los cuadrantes y en los taladros de Arrastre.

- **Cálculo de Longitud de Carga de Columna**

$$L_c = H' - C_f - T$$

Donde:

H': Profundidad de taladro real (m)

Cf: Longitud de carga de fondo (m)

T: Taco (m)

Entonces:

$$L_c = 1.74 - 0.30 - 0.380$$

$$L_c = 1.057 \text{ m}$$

Nota: Esta longitud de carga será utilizada en todos los cuadrantes y en los taladros de Arrastre.

- **Cálculo de Carga de Columna**

$$CcAnfo = Cc * L_c$$

Entonces:

$$CcAnfo = 0.731 * 1.057$$

$$CcAnfo = 0.773 \text{ Kg}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos del primer cuadrante

**Tabla 8**

*Datos del Primer Cuadrantes*

PRIMER CUADRANTE		
Burden máximo (B1max)	0.123	m
Burden Practico (B1prac)	0.085	m
Espaciamiento (W1)	0.121	m
Concentración de la carga con respecto al ANFO (Cc)	0.731	kg/m
Longitud de carga de columna	1.057	m
Carga de Columna	0.773	Kg

#### 2.4.2.2.2 *Segundo Cuadrante*

- **Cálculo del ancho de taladro con desviación**

$$Ah = (B1_{\text{practico}} - Ep) * \sqrt{2}$$

Donde:

B1: Burden Practico (B1prac)

Ep:

Entonces:

$$ah = (0.085 - 0.0374) * \sqrt{2}$$

$$ah = 0.07 \text{ m}$$

- Cálculo del burden máximo

$$B_{2max} = 8.8 \times (10^{-2}) * \sqrt{\frac{ah \times Cc \times RWS}{d1 \times c}}$$

Donde:

Cc: Concentración de carga del Anfo (kg/m)

RWS: Potencia relativa por peso del Anfo

C: Constante de la roca (m)

Entonces:

$$B = 8.8 \times (10^{-2}) \sqrt{\frac{0.07 \times 0.731 \times 1.04}{0.038 \times 0.4}}$$

$$B = 0.162 \text{ m}$$

- Cálculo del burden practico

$$B_{2 \text{ practico}} = B_{2 \text{ máximo}} - E_p$$

Siempre y cuando se cumpla la siguiente condición:

$$0,5 \text{ Ah} < B_{2 \text{ practico}} \leq 2 \text{ Ah}$$

Entonces:

$$B_{2prac} = 0.162 - 0.0374$$

$$B_{2prac} = 0.124 \text{ m}$$

- **Cálculo del espaciamiento**

$$W_2 = \sqrt{2} * \left[ B_{2Pract} + \left( \frac{W_1}{2} \right) \right]$$

Entonces:

$$W_2 = \left( 0.124 + \frac{0.121}{2} \right) * \sqrt{2}$$

$$E_2 = 0.261 \text{ m}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos del segundo cuadrante:

**Tabla 9**

*Datos del Segundo Cuadrante*

<b>SEGUNDO CUADRANTE</b>		
Ancho de taladros con desviación (Ah)	0.07	m
Burden máximo (B2max)	0.162	m
Burden Practico (B2pract)	0.124	m
Espaciamiento (W2)	0.261	m

### 2.4.2.2.3 Tercer cuadrante

- Cálculo del ancho de los taladros con desviación

$$Ah2 = \left( B2prac + \frac{W1}{2} - Ep \right) * \sqrt{2}$$

Donde:

W1 : Espaciamiento del primer cuadrante (m)

Ep: Error de Perforación (m)

Entonces:

$$Ah2 = \left( 0.124 + \frac{0.121}{2} - 0.0374 \right) * \sqrt{2}$$

$$Ah2 = 0.21 \text{ m}$$

- Cálculo del burden máximo

$$B3max = 8.8 \times (10^{-2}) \sqrt{\frac{Ah2 \times Cc \times RWS}{d1Xc}}$$

Entonces:

$$B3max = 8.8 \times (10^{-2}) \sqrt{\frac{0.21 \times 0.731 \times 1.04}{0.038 \times 0.4}}$$

$$B3max = 0.283 \text{ m}$$

- **Cálculo del burden practico**

$$B_{3 \text{ practico}} = B_{3 \text{ máximo}} - E_p$$

Siempre y cuando se cumpla la siguiente condición:

$$0,5 Ah^2 < B_{3 \text{ practico}} \leq 2 Ah^2$$

Entonces:

$$B_{3 \text{ prac}} = 0.283 - 0.0374$$

$$B_{3 \text{ prac}} = 0.246 \text{ m}$$

- **Cálculo del espaciamento**

$$W_3 = \left( B_{3 \text{ prac}} + \frac{W_2}{2} \right) * \sqrt{2}$$

Donde:

W<sub>2</sub>: Espaciamento del segundo cuadrante (m)

Entonces:

$$W_3 = \left( 0.246 + \frac{0.261}{2} \right) * \sqrt{2}$$

$$E_3 = 0.532 \text{ m}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos del tercer cuadrante

**Tabla 10**

*Datos del Tercer Cuadrante*

TERCER CUADRANTE		
Ancho de taladros con desviación (Ah2)	0.21	m
Burden máximo (B3max)	0.283	m
Burden Practico (B3prac)	0.246	m
Espaciamiento (W3)	0.532	m

#### 2.4.2.2.4 Cuarto Cuadrante

- **Cálculo del ancho de los taladros con desviación**

$$Ah3 = \left( B3prac + \frac{W2}{2} - Ep \right) * \sqrt{2}$$

Entonces:

$$Ah3 = \left( 0.246 + \frac{0.261}{2} - 0.0374 \right) * \sqrt{2}$$

$$Ah3 = 0.479 \text{ m}$$

- **Cálculo del burden máximo**

$$B4max = 8.8 \times (10^{-2}) \sqrt{\frac{Ah3 \times Cc \times RWS}{d_1 \times C}}$$

Entonces:

$$B4max = 8.8 \times (10^{-2}) \sqrt{\frac{0.479 \times 0.731 \times 1.04}{0.038 \times 0.4}}$$

$$B4max = 0.430 \text{ m}$$

○ **Cálculo del burden practico**

$$B_{4 \text{ practico}} = B_{4 \text{ máxima}} - E_p$$

Siempre y cuando se cumpla la siguiente condición

$$0,5 Ah_3 < B_{3 \text{ practico}} \leq 2 Ah_3$$

Entonces:

$$B_{4 \text{ prac}} = 0.430 - 0.0374$$

$$B_{4 \text{ prac}} = 0.392 \text{ m}$$

● **Cálculo del espaciamiento**

$$W_4 = \left( B_{4 \text{ prac}} + \frac{W_3}{2} \right) * \sqrt{2}$$

Entonces:

$$W_4 = \left( 0.392 + \frac{0.532}{2} \right) * \sqrt{2}$$

$$W_4 = 0.931 \text{ m}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos del cuarto cuadrante

**Tabla 11**

*Datos del Cuarto Cuadrante*

CUARTO CUADRANTE		
Ancho de taladros con desviación (Ah3)	0.479	m
Burden máximo (B4max)	0.430	m
Burden Practico (B4prac)	0.392	m
Espaciamiento (W4)	0.931	m

Teniendo en cuenta la regla practica que dice “el espaciamento del último cuadrante debe ser menor o igual a la raíz cuadrada del avance efectivo”; ( $W4 \leq \sqrt{I}$ ), no sería factible tener un cuadrante más, por lo que nuestra malla solo tendrá 4 cuadrantes.

### 2.4.2.2.5 Taladros de arrastre

Se debe tener las siguientes consideraciones:

**Factor de fijación** = Generalmente se toma el valor de 1,45 para tener en cuenta el efecto gravitacional y el tiempo de retardo entre barrenos.

**S/B** = Relación entre el espaciamiento y el burden. Se suele tomar igual a 1.

**c. Corregida** = Constante de roca corregida.

c. Corregida =  $c + 0,05$  para  $B_{\text{máx. z}} \geq 1,4 \text{ m}$

c. Corregida =  $c + 0,07/B$  para  $B_{\text{máx. z}} < 1,4 \text{ m}$

#### Ilustración 4 Consideraciones para los taladros de arrastre

- **Cálculo del burden máximo del arrastre**

$$B_{\text{max}} = 0.9 \times \sqrt{\frac{Cc \times RWS}{Cx \frac{S}{B} \times f}}$$

Donde:

Cc: Concentración de la carga con respecto al Anfo (kg/m)

RWS: Potencia relativa por peso del Anfo

C: Constante de la roca (m)

S/B: Relación de espaciamiento y burden para el arrastre

f: Factor de fijación.

Entonces:

$$B = 0.9 \times \sqrt{\frac{0.731 \times 1.04}{0.4 \times 1 \times 1.45}}$$

$$B = 1.03 \text{ m}$$

- **Cálculo de la Constante de Roca Corregida.**

$$C' = 0.4 + \left( \frac{0.07}{1.03} \right)$$

$$C' = 0.47$$

- **Cálculo del burden máximo del arrastre**

$$B_{mcorr} = 0.9 \times \sqrt{\frac{Cc \times RWS}{C' \times \frac{S}{B} \times f}}$$

Entonces:

$$B_{mcorr} = 0.9 \times \sqrt{\frac{0.731 \times 1.04}{0.47 \times 1 \times 1.45}}$$

$$B = 0.95 \text{ m}$$

- **Cálculo del burden practico**

$$B_{prac} = B_{mcorr} - H' \times \text{sen}(Y)$$

Donde:

B<sub>prac</sub>: Burden práctico del arrastre

H': Profundidad de taladro real (m)

Y: Angulo de inclinación de los taladros (rad)

Entonces:

$$B_{prac} = 0.95 - 1.74 \times \text{sen}(3^\circ)$$

$$B_{prac} = 0.86 \text{ m}$$

- **Cálculo del número de taladros**

$$N^{\circ}t = \frac{A + (2 \times H' \times \text{sen}(Y^{\circ}))}{B_{prac}} + 2$$

Donde:

$N^{\circ}t$ : Numero de taladros

A: Ancho de la labor (m)

$H'$ : Profundidad de taladro real (m)

Entonces:

$$N^{\circ}t = \frac{3 + (2 \times 1.74 \times \text{sen}(3^{\circ}))}{0.86} + 2$$

$$N^{\circ}t = 5$$

- **Cálculo del espaciamiento en el arrastre**

$$Sa = \frac{A + (2 \times H' \times \text{sen}(Y^{\circ}))}{(N^{\circ}t - 1)}$$

Donde:

A: Ancho de la labor (m)

Entonces:

$$Sa = \frac{3 + (2 \times 1.74 \times \text{sen}(3^{\circ}))}{(5 - 1)}$$

$$Sa = 0.80 \text{ m}$$

- **Cálculo del espaciamiento para los taladros de la equina**

$$Sae = Sa - H' \times \text{sen}(Y^{\circ})$$

Donde:

Sae: Espaciamiento para taladros de la esquina del arrastre (m)

Sa: Espaciamiento en el arrastre (m)

H': Profundidad de taladro real (m)

Entonces:

$$Sae = 0.80 - 1.74 \times \text{sen}(3^\circ)$$

$$Sae = 0.70 \text{ m}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos del taladros de arrastre

**Tabla 12**

*Datos de los taladros de arrastre*

<b>ARRASTRE</b>		
Burden máximo (Bmcorr)	0.95	m
Burden practico (Bprac)	0.86	m
Numero de taladros	5	u
Espaciamiento arrastre (Sa)	0.80	m
Espaciamiento para taladros de las esquinas (Sae)	0.70	m
Concentración de la carga con respecto al ANFO (Cc)	0.731	kg/m
Longitud de carga de columna	1.057	m
Carga de Columna	0.773	Kg

#### 2.4.2.2.6 *Taladros de Corona*

El factor de fijación ( $f$ ) para los taladros que rompen hacia abajo y horizontalmente será 1,2 ya que la gravedad trabaja a favor y la proporción S / B será 0.8

Para la corona se utilizará:

**Tabla 13**

*Datos para hallar los taladros de corona*

<b>CORONA</b>	
Factor de fijación	1.2
Relación de espaciamiento/burden	0.8
Constante k	15

- **Cálculo del espaciamiento**

$$Sc = K \times D1$$

Donde:

Sc: Espaciamiento en la corona (m)

K: Constante

D1: Diametro del taladro cargado (m)

Entonces:

$$EC = 15 \times 0.038$$

$$Ec = 0.68 \text{ m}$$

- **Cálculo del burden máximo**

$$B_{max} = \frac{Sc}{S/B}$$

Donde:

Sc: Espaciamiento en la carona (m)

S/V: Relación espaciamento/burden

Entonces:

$$B = \frac{0.57}{0.8}$$

$$B = 0.71 \text{ m}$$

- **Cálculo del burden practico**

$$B_{prac} = B_{max} - H' \times \text{sen}(Y^\circ)$$

Donde:

Y: Angulo de inclinación de los taladros (m)

Entonces:

$$B_{prac} = 0.71 - 1.74 \times \text{sen}(3^\circ)$$

$$B_c = 0.62 \text{ m}$$

- **Cálculo del Número de coronas**

$$N^{\circ}t = \frac{A}{Sc} + 1$$

Donde:

N<sup>o</sup>t: Numero de taladros

A: Ancho de la labor (m)

Sc: Espaciamiento coronas (m)

Entonces:

$$N^{\circ}t = \frac{3}{0.68} + 1$$

$$N^{\circ}t = 6$$

- **Taco**

Al ser considerados como taladros de contorno se aumenta el taco hasta que la concentración de carga de ANFO se reduzca en un 50%, con el objetivo de cuidar el contorno de la sección. Esta condición también aplica para los taladros cuadradores.

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos de los taladros de Corona.

**Tabla 14**

*Taladros de Corona.*

<b>CORONA</b>		
Espaciamiento (Sc)	0.68	m
Burden máximo (Bmax)	0.71	m
Burden practico (Bprac)	0.62	M
Numero de taladros	6	U
Longitud de Taco	0.93	m
Longitud de Carga de Columna	0.51	m
Concentración de Carga de Anfo	0.731	Kg/m
Carga de Columna	0.37	Kg

#### 2.4.2.2.7 Cuadradores

- **Cálculo de Espacio Libre (El)**

$$El = H' - B_{pracArrastre} - B_{pracCorona}$$

Entonces:

$$El = 1.74 - 0.86 - 0.62$$

$$El = 1.52 \text{ m}$$

- **Cálculo del Espaciamiento**

$$SCajas = K * d1$$

Donde:

K: Constante que varía entre 15 y 16.

D1: Diámetro del taladro cargado (m)

Entonces:

$$Scajas = 15 * 0.038$$

$$Scajas = 0.57 \text{ m}$$

- **Cálculo del Burden máximo**

$$B_{maxCajas} = \frac{SCajas}{0.8}$$

Entonces:

$$B_{maxCajas} = \frac{0.57}{0.8}$$

$$B_{maxCajas} = 0.71 \text{ m}$$

- **Cálculo del Burden practico**

$$B_{pracCajas} = B_{maxCajas} - (H * \text{sen}(y))$$

Entonces:

$$B_{pracCajas} = 0.71 - (1.74 * \text{sen}(3^\circ))$$

$$B_{pracCajas} = 0.62 \text{ m}$$

- **Cálculo del Número de Taladros**

$$N^{\circ}t = \frac{El}{Scajas} + 1$$

Entonces:

$$N^{\circ}t = \frac{1.52}{0.57} + 1$$

$$N^{\circ}t = 3$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos de los taladros de caja o cuadradores

**Tabla 15**

*Taladros cuadradores*

CUADRADORES		
Espacio Libre (El)	1.52	m
Espaciamiento (Scajas)	0.57	m
Burden Maximo (Bmax)	0.71	m
Burden Practico	0.62	m
Numero de taladros	3	U

Concentración de la carga con respecto al ANFO (Cc)	0.731	kg/m
Longitud de Taco	0.93	m
Longitud de carga de columna	0.51	m
Carga de Columna	0.37	Kg

#### 2.4.2.2.8 Taladros Auxiliares

##### Auxiliares de Cuadradores

El factor de fijación para los taladros que rompen hacia arriba y horizontalmente será 1,45 y la proporción S / B será 1,25.

**Tabla 16**

*Datos para hallar los taladros auxiliares.*

Auxiliares de Cuadradores	
Factor de fijación	1.45
Relación de espaciamiento/burden	1.25

- **Cálculo del Burden Máximo Corregido**

$$BmAux - Cuad = 0.9 x \sqrt{\frac{Cc x RWS}{C' x \frac{S}{B} X f}}$$

Entonces:

$$BmAux - Cuad = 0.9 x \sqrt{\frac{0.731 x 1.04}{0.48 x 1.25 X 1.45}}$$

$$B_{mAux} - Cuad = 0.84 \text{ m}$$

- **Cálculo del Burden Práctico**

$$B_{prac} = B_{mAux} - E_p$$

Entonces:

$$B_{prac} = 0.84 - 0.0374$$

$$B_{prac} = 0.81 \text{ m}$$

- **Cálculo del Número de Taladros**

$$N^{\circ} T = \frac{W_4}{B_{max} * \left(\frac{S}{B}\right)} + 2$$

Donde:

W4: Espaciamiento de taladros en el cuarto cuadrante.

Entonces:

$$N^{\circ} T = \frac{0.931}{0.84 * 1.25} + 2$$

$$N^{\circ} T = 3$$

- **Cálculo del Espaciamiento**

$$S = \frac{W_4}{N^{\circ} T - 1}$$

Entonces:

$$S = \frac{0.931}{3 - 1} = 0.47 \text{ m}$$

**Tabla 17**

*Taladros Auxiliares*

<b>AUXILIARES DE CUADRADOR</b>		
Burden Maximo Corregido (Bmax)	0.84	m
Burden Practico	0.81	m
Numero de taladros	3	U
Espaciamiento	0.47	m
Concentración de la carga con respecto al ANFO (Cc)	0.731	kg/m
Longitud de Taco	0.76	m
Longitud de carga de columna	0.68	m
Carga de Columna	0.50	Kg

**Auxiliares de Corona**

El factor de fijación para los taladros que rompen hacia abajo y horizontalmente será 1,2 y la proporción S / B será 1,25.

**Tabla 18**

*Datos para hallar los taladros auxiliares de corona.*

<b>Auxiliares de Cuadradores</b>	
Factor de fijación	1.2
Relación de espaciamento/burden	1.25

- **Cálculo de Espacio Libre**

$$El = A - (2 * B_{prac} Cuad)$$

Entonces:

$$El = 3 - (2 * 0.62)$$

$$El = 1.76 m$$

- **Cálculo del Burden Máximo Corregido**

$$B_{mAux} - Cor = 0.9 x \sqrt{\frac{Cc x RWS}{C' x \frac{S}{B} X f}}$$

Entonces:

$$B_{mAux} - Cuad = 0.9 x \sqrt{\frac{0.731 x 1.04}{0.47 x 1.25 X 1.2}}$$

$$B_{mAux} - Cuad = 0.93 m$$

- **Cálculo del Burden Practico**

$$B_{prac} = B_{mAux} - Ep$$

Entonces:

$$B_{prac} = 0.93 - 0.0374$$

$$B_{prac} = 0.90 m$$

- **Cálculo del Número de Taladros**

$$N^{\circ} T = \frac{El}{B_{max} * \left(\frac{S}{B}\right)} + 2$$

Entonces:

$$N^{\circ} T = \frac{1.76}{0.93 * 1.25} + 2$$

$$N^{\circ} T = 3$$

- **Cálculo del Espaciamiento**

$$S = \frac{El}{N^{\circ}T - 1}$$

Entonces:

$$S = \frac{1.76}{3 - 1} = 0.88 \text{ m}$$

A continuación, presentamos de forma resumida los datos obtenidos de los taladros auxiliares de caja o cuadradores

**Tabla 19**

*Taladros auxiliares de corona*

<b>AUXILIARES DE CUADRADOR</b>		
Espacio Libre	1.76	m
Burden Maximo Corregido (Bmax)	0.93	m
Burden Practico	0.90	m
Numero de taladros	3	u
Espaciamiento	0.88	m
Concentración de la carga con respecto al ANFO (Cc)	0.731	kg/m
Longitud de Taco	0.76	m
Longitud de carga de columna	0.68	m

Carga de Columna	0.50	Kg
------------------	------	----

A continuación, se muestra un resumen del número de taladros por sección obtenidos al aplicar el modelo matemático de Roger Holmberg.

**Tabla 20**

*Numero de taladros teóricos.*

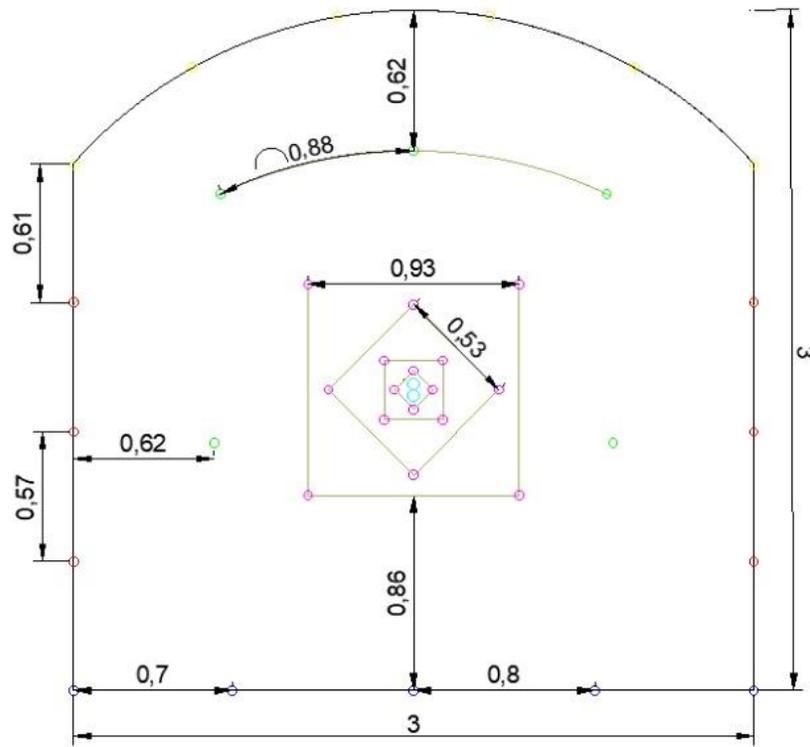
NÚMERO DE TALADROS TEORICOS		
Alivio	2	und
Primer Cuadrante	4	und
Segundo Cuadrante	4	und
Tercer Cuadrante	4	und
Cuarto Cuadrante	4	und
Arrastre	5	Und
Corona	6	Und
Cuadradores por lado	3	Und
Auxiliares de Cuadradores por lado	3	Und
Auxiliares de Corona	3	Und
<b>TOTAL</b>	<b>44</b>	<b>Und</b>

Teniendo en cuenta los datos obtenidos aplicando la metodología de Roger Holmberg, se graficó la nueva malla de perforación en el programa AutoCAD.

#### **2.4.2.3 Boceto de la malla de perforación y voladura propuesta.**

Se ha considerado reducir el número de taladros en algunas secciones de la malla de perforación propuesta debido a temas operativos, de costos y basándose principalmente en los resultados obtenidos después de simular en el software JK SimBlast, reduciendo en total 2 taladros por lado en la sección auxiliares de cuadradores, quedando 40 taladros de los 44 taladros teóricos propuestos por la metodología de Roger Homlberg.

## Malla de Perforación Propuesta - Sección 3x3m



<b>Roger Holmberg - # de Taladros</b>	
Alivio	2
Arranque	16
Arrastre	5
Corona	6
Cuadradores	6
Aux. de Cuadradores	2
Aux. de Corona	3
<b>Total</b>	<b>40</b>



**Ilustración 5** Malla de perforación propuesta

#### 2.4.2.4 Diseños de Carga Propuestos.

También se realizaron los diseños de carga propuestos en el programa AutoCAD, para lograr estos diseños se consideraron los siguientes factores:

**Carga de Fondo:** Como explosivo iniciador se ha optado por remplazar el cartucho de Semigelatina 65 1" x 7" del proveedor FAMESA por un cartucho de Semexa 65 1 ½" x 12" del fabricante EXSA. Esta configuración se aplicará en todos los taladros de la malla de perforación, excepto los taladros de alivio. Este cambio tiene por objetivo lograr un mayor grado de confinamiento entre el explosivo iniciador y el taladro, al aumentar el diámetro del cartucho de 1" a 1 ½", incrementando así la velocidad de detonación y por consiguiente la presión de detonación, obteniendo como resultado un mejor aprovechamiento de la energía a lo largo del taladro.

**Carga de Columna:** Se ha optado por cambiar el explosivo que actualmente se viene utilizando por un Examon P que es un ANFO a granel del fabricante EXSA. La longitud de la carga de columna va a variar de taladro a taladro, dependiendo de la sección en la que se encuentren.

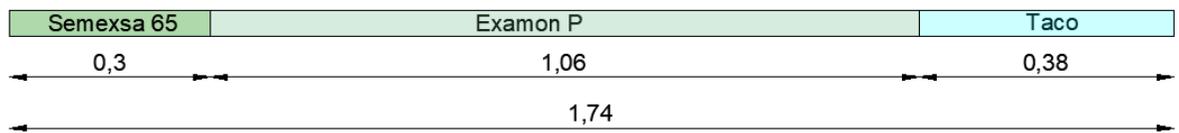
**Taco:** Como material para el taco se ha optado por usar el mismo detrito de la perforación, ya que será suficiente para confinar el explosivo y retener la energía y los gases generados por este. Al igual que en la carga de columna, las longitudes del taco van a depender de la sección en la que se encuentre el taladro.

Las 3 configuraciones o diseños de carga propuestos para la nueva malla de perforación y voladura son las siguientes:

## Taladros de Arranque y de Arrastre

La longitud de perforación con una barra de 6pies al 95% es de 1.74m, en donde como cebo se tiene 1 cartucho de Semexa 65 1 ½” x 12”, como carga de columna 1.06m de Examon P y como taco 0.38m de detrito de perforación.

### ***Taladros de Arranque - Arrastre***

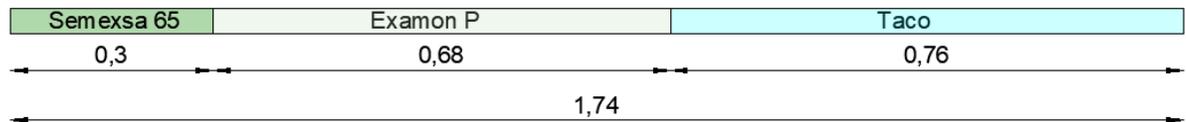


**Ilustración 6** *Diseño de carga para taladros de arranque y arrastre*

## Taladros Auxiliares

Para los taladros auxiliares el único cambio que se tiene es el aumento de la longitud del taco con el objetivo de ir reduciendo el factor de carga hacia los contornos de la sección.

### ***Taladros Auxiliares***

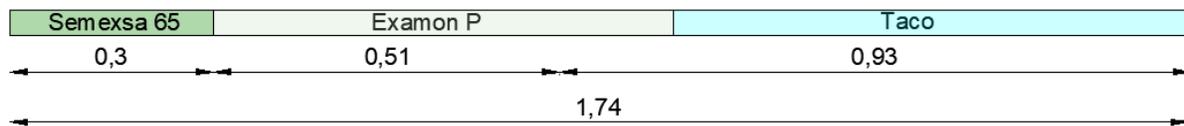


**Ilustración 7** *Diseño de carga para taladros Auxiliares*

## Taladros Cuadradores y de Corona

Este grupo de taladros, al ser considerados como taladros de contorno tienen un factor de carga lineal mucho menor que los demás, debido a que se debe tener los cuidados necesarios para no dañar el contorno de la sección, evitar la sobre excavación en las paredes y en el techo de esta y asegurar la estabilidad de la labor.

### ***Taladros de Corona y Cuadradores***



**Ilustración 8** *Diseño de carga para taladros de corona y cuadradores.*

En este caso se ha reducido el factor de carga al 50% en comparación con los taladros de arranque y arrastre.

### 2.4.2.5 Distribución de la Carga Explosiva.

En la siguiente tabla se puede observar la distribución de la carga explosiva en un frente de perforación cargado, Se tiene en promedio un aproximado de 37.14 Kg de explosivo por disparo.

**Tabla 21**

*Distribución de la Carga Explosiva*

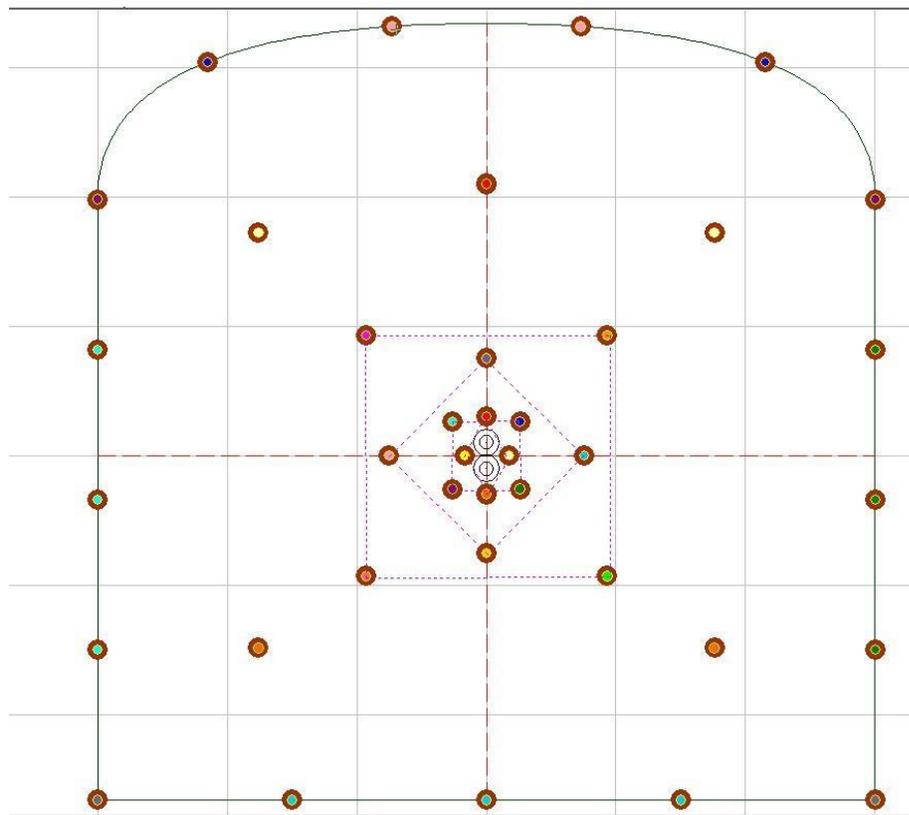
#### DISTRIBUCIÓN DE CARGA EXPLOSIVA

Tipo de Taladro	# Tal.	Long. Tal Perf. (m)	Taco (m)	Long. Carga de Fondo	Long. Carga de Columna	Peso de Semexa 65 (Kg)	Kg en Carga de Fondo	Concentración de Carga - Examon P (Kg/m)	Carga de Columna (Kg)	Kg en Carga de Columna	Total de Explosivo
Alivio	2	1.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arranque	16	1.74	0.38	0.30	1.06	0.368	5.89	0.731	0.77	12.37	18.25
Arrastre	5	1.74	0.38	0.30	1.06	0.368	1.84	0.731	0.77	3.86	5.70
Corona	6	1.74	0.93	0.30	0.51	0.368	2.21	0.731	0.37	2.23	4.43
Cuadradores	6	1.74	0.93	0.30	0.51	0.368	2.21	0.731	0.37	2.23	4.43
Aux. Cuadradores	2	1.74	0.76	0.30	0.68	0.368	0.74	0.731	0.50	0.99	1.73
Aux. Corona	3	1.74	0.76	0.30	0.68	0.368	1.10	0.731	0.50	1.49	2.59
	<b>40</b>						<b>13.98</b>			<b>23.16</b>	<b>37.14</b>

#### 2.4.2.6 Simulación de la voladura en el software JK SIMBLAST – 2D FACE

Posteriormente, en el Software Jksimblast – Modulo 2D Face, se cargaron los diseños propuestos, con el objetivo de simular los efectos y resultados de las voladuras, también se aplicó un análisis de energía y un análisis de los niveles de vibración. Estas simulaciones fueron de ayuda para ajustar y calibrar los parámetros de la malla de perforación propuesta por Roger Holmberg, quedando así un diseño óptimo.

##### 2.4.2.6.1 *Importación de la malla generada en AutoCAD a JKSimBlast:*

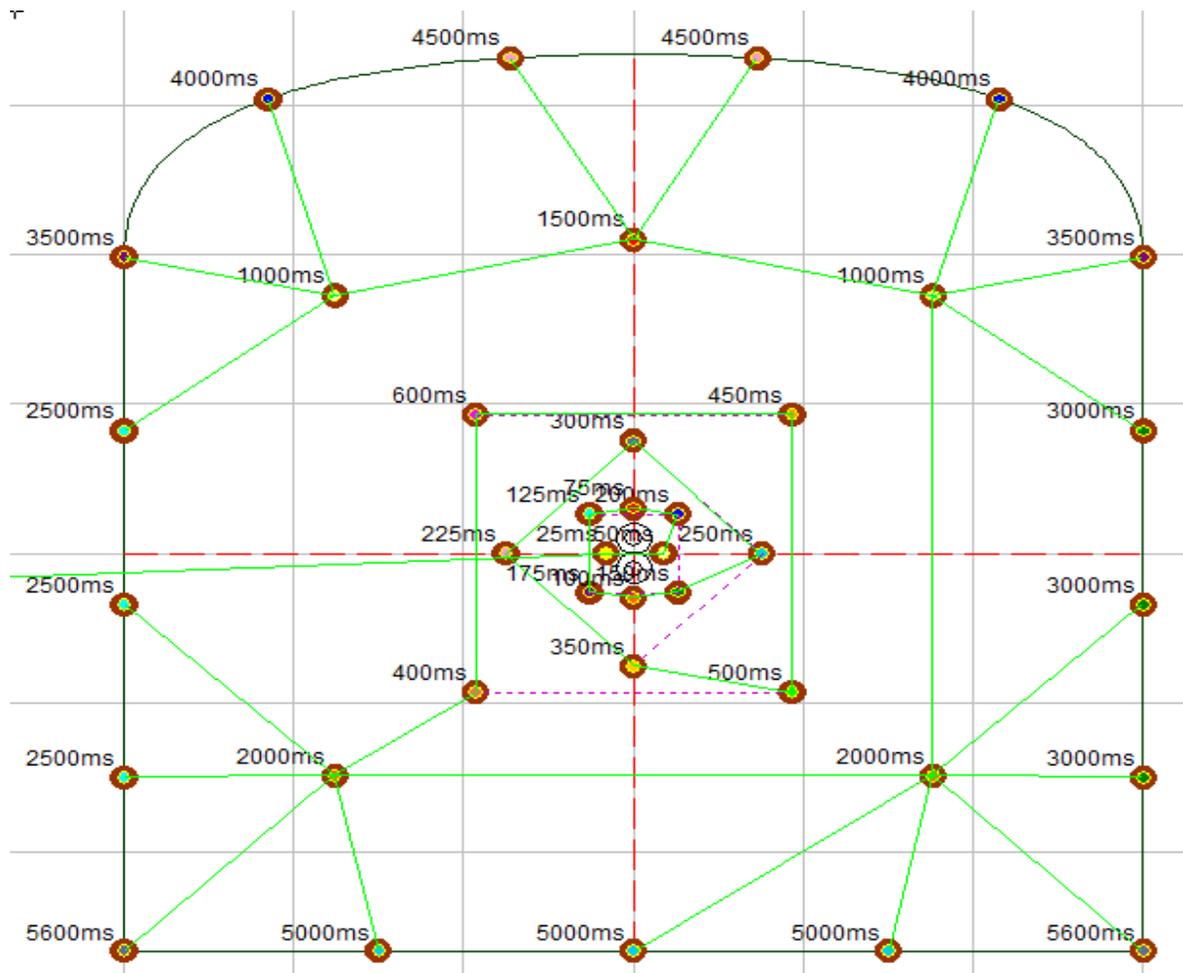


**Ilustración 9** *Importación de la malla generada en AutoCAD a JKSimBlast*

### 2.4.2.6.2 Simulación de detonación en el programa JKSimBlast:

- **Secuencia de salida, enmallado y retardos:**

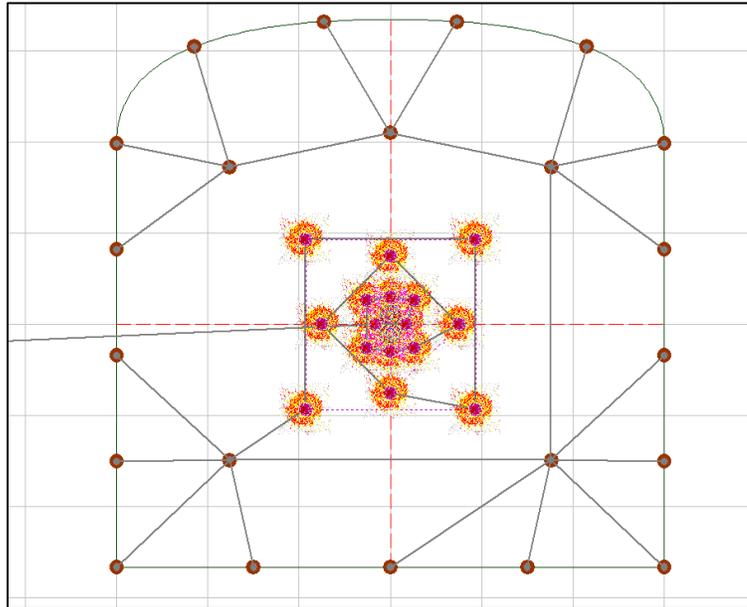
Para la secuencia de salida, se debe seguir un orden establecido, primero, detonaran los taladros del arranque (25 – 600ms), seguido de los taladros auxiliares (1000 – 2000ms), posteriormente saldrán los cuadradores (2500 -3000ms) que dejaran una cara libre lista para la detonación de los taladros de corona (3500 – 4500ms) y, por último, saldrán los taladros de arrastre (5000 – 5600ms).



**Ilustración 10** Secuencia de salida, enmallado y retardos de la malla propuesta

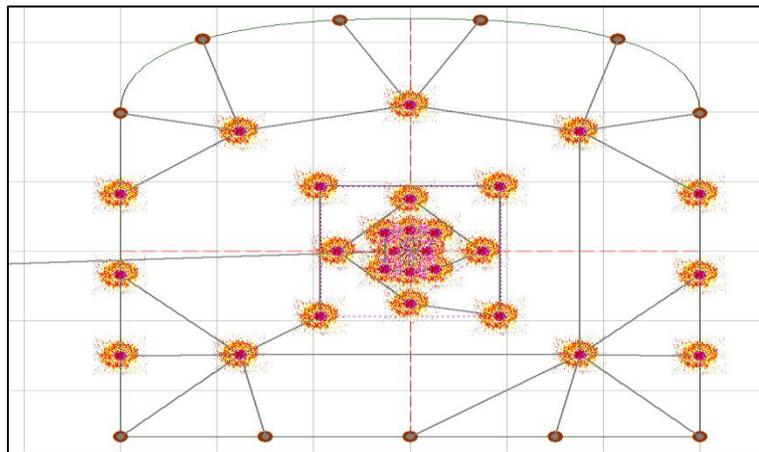
- **Detonación:** Consideramos dividirlo en cuatro fases para facilitar la visualización.

**Primera fase:** Detonación de los taladros de arranque.



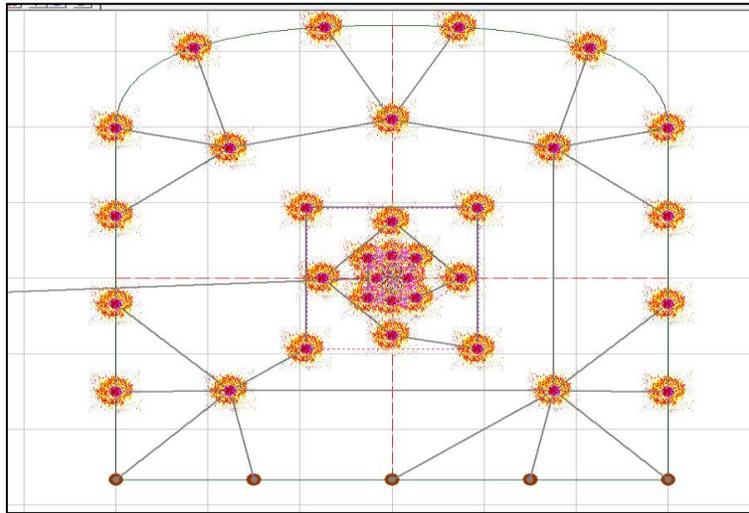
**Ilustración 11** *Primera Fase de la Detonación*

**Segunda fase:** Salida de los taladros auxiliares y de caja.



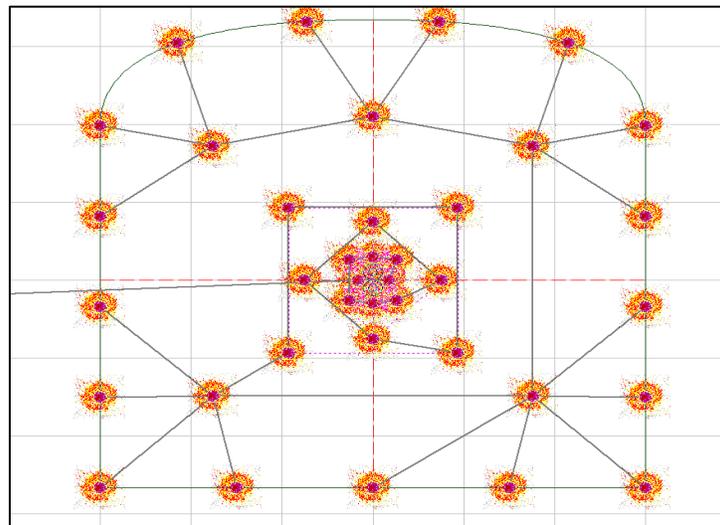
**Ilustración 12** *Segunda Fase de la Detonación*

**Tercera Fase:** Salida de los taladros de corona



**Ilustración 13** Segunda Fase de la Detonación

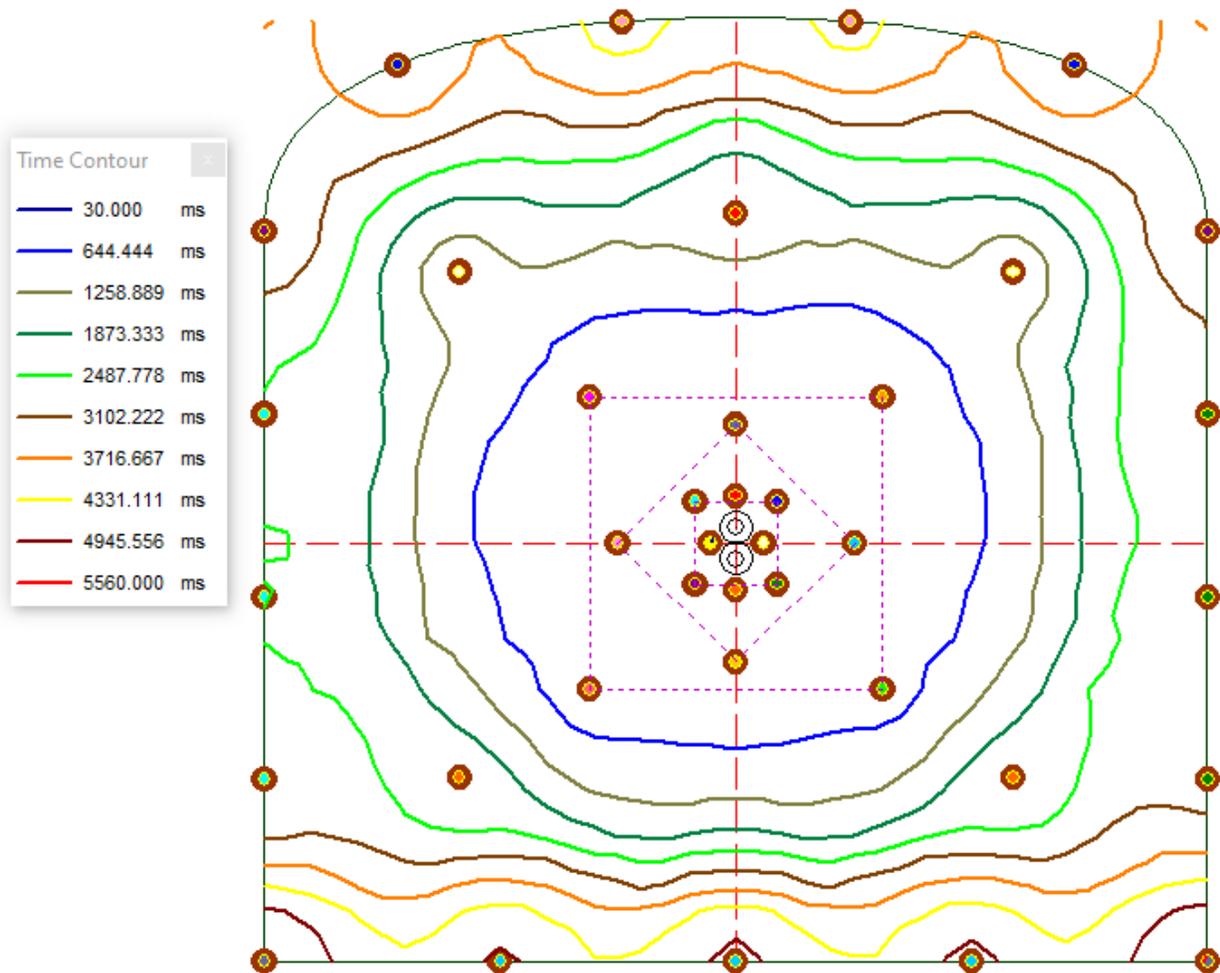
**Cuarta Fase:** Finalmente salida de los taladros de arranque y detonación completa.



**Ilustración 14** Cuarta Fase de Detonación

### 2.4.2.6.3 *Análisis de Isotiempos:*

El análisis consiste en obtener la simulación y curvas de iso-valores de tiempos de detonación para asegurar que se esté aplicando la correcta configuración de detonación.



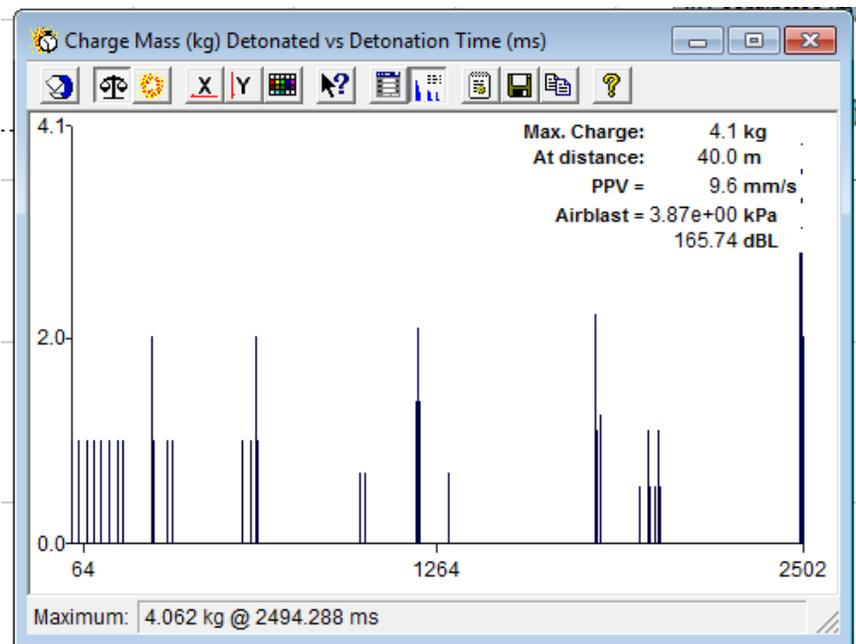
**Ilustración 15** *Gráfica de Isotiempos*

#### 2.4.2.6.4 *Velocidad pico partícula (Vpp):*

Generalmente, los límites propuestos por distintas normativas son establecidos en base a las medidas de las VPP (Velocidad Pico Partícula), por lo que, la correcta medición de este parámetro no solo es considerado importante, sino también crítico para cualquier operación minera.

Para el caso de esta aplicación, se usará los límites de la VPP establecidos por el Bureau of Mines de los Estados Unidos, para las oficinas de la mina y el pueblo de Quiruvilca (construcciones de material noble) se utilizará un límite superior de 2 in/s o 50.8 mm/s.

Los valores encontrados se sitúan usualmente entre el rango de 9 – 13 mm/s para una distancia de 40m, con lo cual, queda demostrado que nuestros niveles de vibración son aceptables.

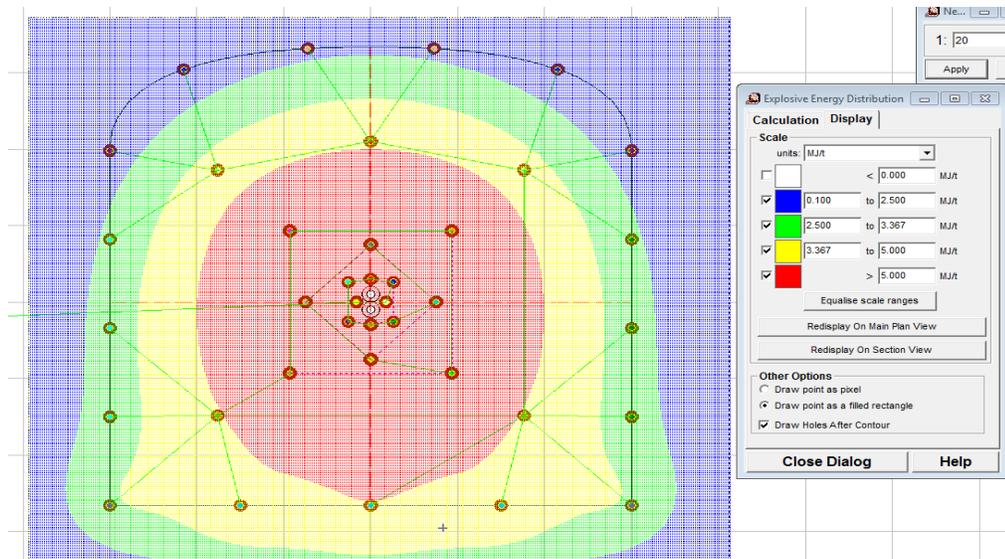


**Ilustración 16** *Análisis de Datos de VPP*

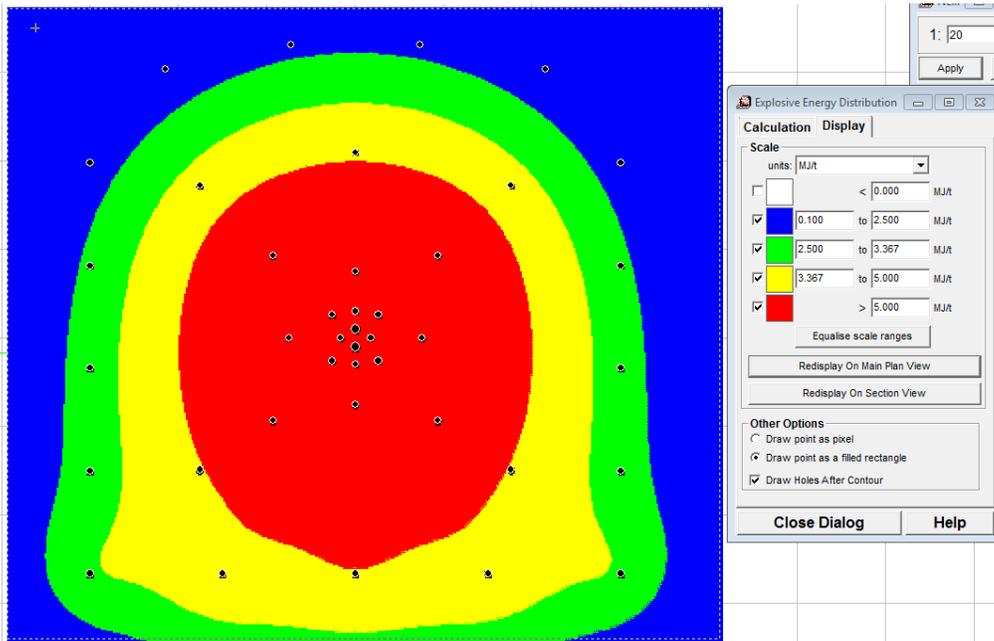
#### 2.4.2.6.5 *Análisis de distribución de energía del explosivo*

Haciendo el análisis de energía se obtuvo lo siguiente:

Basándonos en los criterios de detonación y análisis de daños podemos decir que, tenemos el mayor porcentaje de finos concentrado en la zona central, en la zona roja se produjo una trituración del material, la zona amarilla es una zona de transición donde hay una mezcla de efectos ocurridos en la zona roja como en la zona verde, y por último la zona verde hay un menor daño lo que es conveniente ya que se encuentran los contornos de la labor por lo que no afectaría al sostenimiento y no se produciría una sobre excavación.



**Ilustración 17** *Análisis de distribución de energía del explosivo (Mj/t)*



**Ilustración 18** *Análisis de distribución de energía del explosivo (Mj/t)*

Para desarrollar el segundo objetivo específico planteado en esta investigación, el diseño final de la malla de perforación y los diseños de carga fueron puestos a prueba en campo durante 7 días para analizar los resultados obtenidos.

Para realizar este trabajo se tomó en cuenta el programa anual de exploración, desarrollo y preparación de labores de la unidad minera subterránea.

#### **2.4.2.7 Programa anual de exploración, desarrollo y preparación de labores.**

La unidad minera subterránea cuenta con un programa anual de producción y de avances, tanto para labores de exploración como de desarrollo y preparación. Este estudio se enfocó en las labores de preparación y desarrollo que pertenecen a los niveles de profundización 19 y 20 y que tienen su ejecución programada para el mes de septiembre por el área de Planeamiento Mina.

**Tabla 22**

*Programa anual de desarrollo y preparación de labores.*

<b>PROGRAMA ANUAL DE AVANCES - 2021</b>													
	<b>Primer Semestre</b>						<b>Segundo Semestre</b>						
	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Setiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Total</b>
<b>Metros Programados (m)</b>	500	600	600	550	600	500	500	500	600	600	600	600	6750

El programa de avances considera un promedio de 500 a 600 metros de avance por mes entre todas las labores y niveles con los que cuenta la unidad minera subterránea, las labores de preparación y desarrollo se van programando de acuerdo a las necesidades de producción y a los cuerpos o tajos que son de prioridad o que su explotación esta próxima.

A continuación, se muestra el programa de avances detallado para el mes de septiembre.

**Tabla 23**

*Programa de avances - mes de septiembre*

PROGRAMA DE AVANCES - SEPTIEMBRE 2021								
FASE	Z O N A	NIVEL	LABOR	VETA	METRO S	ANCHO (m)	ALTURA (m)	OBJETIVO
PREPARACION		19	CAM 875 SW	XIMENA	20	3	3	Cámara de acumulación de mineral TJ 010 W del nivel 19
		19	CAM 720	XIMENA	20	3	3	Cámara de acumulación de mineral TJ 012 W del nivel 19
	O R O Y A	19	GL 820 NE	ESPERANZA PISO	80	3	3	Extracción de mineral
		20	RP 565	XIMENA	60	3	3	Rampa de profundización hacia el nivel 21
		20	XC 945 NW	XIMENA	50	3	3	Labor de conexión al RB 840
		20	GL 970 NE	XIMENA	100	3	3	Extracción de mineral
		20	CAM 015 NE	XIMENA	30	3	3	Cámara para refugio minero del Nivel 20
		20	GL 088 NE	ESPERANZA	80	3	3	Extracción de mineral
	E S P E R A N Z A	20	GL 108 SW	ESPERANZA PISO	80	3	3	Desarrollar block E 380: 5430 TMS. Ag 6.75 Oz/Tn
		20	BP 098 NE	ESPERANZA PISO	50	3	3	Preparar ventanas de extracción del TJ 088 y TJ 108
	20	XC 080 S	ESPERANZA PISO	20	3	3	Crucero para acceder al BP 098 SW	

---

20	CAM 094 SW	ESPERANZA PISO	10	3	3	Cámara para echadero de mineral
<b>TOTAL, DE AVANCE (m)</b>			600			

---

Considerando que en la unidad minera subterránea se realizan 2 disparos por día y en promedio logran un avance de 1.56m por disparo se necesitarían alrededor de 364 disparos para poder cumplir con los 600 metros de avance programados para septiembre

#### 2.4.2.8 Fragmentación y Sobre excavación con la malla propuesta.

Después de la probar en campo la nueva malla de perforación, se calculó un promedio del avance obtenido en metros por disparo en los diferentes frentes de perforación, se analizó para ver si la fragmentación de la roca era adecuada o no y también si existía sobre excavación en los contornos de las labores.

**Tabla 24**

*Parámetros de perforación obtenidos*

PARAMETROS DE PERFORACION OBTENIDOS			
Descripción	Cantidad		
# de Taladros Cargados	38		und
# de Taladros de Alivio	2		und
	CAM 875 SW	1.68	m
	GL 820 NE	1.65	m
	RP 565	1.62	m
Avance de Perforación	XC 945 NW	1.7	m
	GL 088 NE	1.62	m
	GL 108 SW	1.64	m
	XC 080 S	1.63	m
Promedio de Avance de perforación	1.65		m
Eficiencia de Perforación	95		%

Se puede apreciar el resultado de la voladura en el frente número 3 de la veta Esperanza, labor GL 820 NE del nivel 19, como se observa la fragmentación obtenida es uniforme, no hay presencia de rocas de gran tamaño, por lo que facilitara el proceso de carguío y acarreo.



**Ilustración 19** Frente Número 3 de la Veta Esperanza, Labor GL 820 NE

En el frente número 6 de la veta Ximena labor GL 970 NE del nivel 20, se puede observar que el contorno de la sección post voladura es regular, no hay presencia de voladizos en la zona de la corona y se aprecia una labor contorneada.



**Ilustración 20** *Frente Número 6 de la Veta Ximena Labor GL 970 NE*

Por último, para comenzar a desarrollar del tercer objetivo específico planteado en esta investigación, se solicitó a la empresa minera que nos proporcionara un histórico de los costos de perforación y voladura en sus labores de preparación y desarrollo. Estos datos se procesaron en hojas de cálculo de Excel y comparados con un promedio de los costos que fueron necesarios para poner a prueba la malla de perforación y voladura propuesta en campo.

Cabe resaltar que todos los costos fueron transformados a las unidades de dólares por disparo (\$/disparo) para un mejor análisis y entendimiento.

#### **2.4.2.9 Costo de Perforación y Voladura actual.**

Los costos de la perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo están dados por la sumatoria de los costos de mano de obra, perforación, voladura e implementos de seguridad requeridos para las actividades, esta información ha sido proporcionada por la empresa minera.

##### **2.4.2.9.1 Costos de Mano de Obra.**

Tanto para las operaciones de perforación y voladura de las labores de preparación y desarrollo se necesitan tres trabajadores por guardia, un maestro perforista y dos ayudantes perforistas encargados de la preparación, carguío de los explosivos y de sacar adelante las operaciones unitarias de carguío y acarreo.

**Tabla 25**

*Costos de Mano de Obra*

	Remuneración Diaria		Costo/mes			Horas efectivas de trabajo	Tiempo de perforación por taladro	N° de taladros	costo por minuto	Costo total por disparo	
<b>Perforista</b>	S/	120.00	S/	3,600.00	\$	1,028.57					
<b>Ayudante Perf. 1</b>	S/	80.00	S/	2,400.00	\$	685.71	12 horas	3.36 minutos	45	\$ 0.11	\$16.80
<b>Ayudante Perf. 2</b>	S/	80.00	S/	2,400.00	\$	685.71					
		<b>Total</b>	S/	8,400.00	\$	2,400.00					

Tipo de cambio 1\$= S/ 3.5

El costo total de mano de obra por frente perforado es de 16.80 \$/disparo

#### 2.4.2.9.2 *Costo de Perforación.*

La perforación se viene realizando con perforadoras rotopercutivas Jack Leg marca Atlas Copco modelo YT29 que emplea brocas de 38mm de diámetro y barras de 6 pies de longitud. El seguimiento de los parámetros de perforación se realizó por 7 días obteniendo como promedio los siguientes datos:

#### **Costo de aire comprimido.**

**Tabla 26**

*Parámetros para aire comprimido*

<b>Parámetros</b>			
<b>Costo aire comprimido (\$/hora)</b>	<b>Tiempo de Perforación por Taladro (h)</b>	<b>Tiempo de Aire por disparo (h)</b>	<b>Avance de Perforación (m)</b>
28.57 \$/hrs	0.056	2.52	1.56

**Tabla 27**

*Cálculo del costo de aire comprimido con la actual malla de perforación*

<b>Costo de aire comprimido</b>			
<b>Costo por metro perforado</b>	<b>Costo por taladro</b>	<b>Costo por Disparo</b>	<b>Costo por metro de avance</b>
1.03 \$/m	1.60 \$/Tal	72.00 \$/dis	46.15 \$/m

El costo por disparo de aire comprimido de la perforadora Jack leg YT29 es de 72.00 \$/disparo.

## Costo del desgaste del barreno de perforación

**Tabla 28**

*Parámetros para calcular el desgaste del barreno de perforación*

Parámetros	
Precio (\$)	Rendimiento (p.p)
80.25	1200

**Tabla 29**

*Cálculos para el desgaste del barreno de perforación (6 pies)*

Costo del desgaste del barreno de perforación - Barra cónica Atlas Copco 12° 6 pies				
costo de depreciación	Costo por metro perforado	Costo por taladro	Costo por disparo	Costo por metro de avance
0.07 \$/p.p	0.22 \$/m	0.34 \$/Tal	15.40 \$/Disparo	9.87 \$/m

El costo por disparo de del desgaste del barreno de perforación es de 15.40 \$/disparo

### Costo de desgaste de una máquina de perforación

**Tabla 30**

*Parámetros para calcular el costo del desgaste de la máquina de perforación*

Parámetros			
Tipo de maquina	Precio (\$)	Vida útil (p.p)	Depreciación (%)
Jack leg YT29	\$ 4,350.00	60000	70

**Tabla 31**

*Cálculos para el desgaste de la máquina de perforación*

Costo de desgaste de una Perforadora JackLeg YT29											
Costo de depreciación		Costo de mantenimiento		Costo por metro perforado		Costo por taladro		Costo por Disparo		Costo por metro de avance	
0.07	\$/m	0.05	\$/m	0.12	\$/m	0.19	\$/taladro	\$8.65	\$/taladro	5.55	\$/m

El costo por disparo de del desgaste de la máquina de perforación es de 8.65 \$/disparo

### Costo por consumo de broca de 38 mm

**Tabla 32**

*Parámetros para calcular el costo del consumo de broca 38mm*

Parámetros		
Diámetro de broca (mm)	Precio (\$)	Vida útil (p.p)
38	\$ 18.75	500

**Tabla 33**

*Cálculos para el costo del consumo de broca 38mm*

Costo por consumo de Broca cónica Atlas Copco 12° 38mm				
Costo de depreciación	Costo por metro perforado	Costo por taladro	Costo por disparo	Costo por metro de avance
0.04 \$/p.p	0.12 \$/m	0.19 \$/Tal	\$7.87 \$/Disparo	5.04 \$/m

El costo por disparo del consumo de broca de 38mm es de 7.87 \$/disparo

### Costo por consumo de broca de 41 mm

**Tabla 34**

*Parámetros para calcular el costo del consumo de broca 41mm*

Parámetros		
Diámetro de broca (mm)	Precio (\$)	Vida útil (p.p)
41	\$ 19.30	500

**Tabla 35**

*Cálculos para el costo del consumo de broca 41mm*

Costo por consumo de Broca cónica 41mm				
Costo de depreciación	Costo por metro perforado	Costo por taladro	Costo por disparo	Costo por metro de avance
0.04 \$/p.p	0.13 \$/m	0.20 \$/Tal	\$0.79 \$/disparo	0.51 \$/m

El costo por disparo del consumo de broca de 41mm es de 0.79 \$/disparo

**Resumen de costos de perforación con la malla usada actualmente.**

**Tabla 36**

*Resumen de costos de perforación con la malla usada actualmente*

DESCRIPCION	USD \$/ DISPARO	USD \$/ METRO
Aire comprimido	\$ 72.00	\$ 46.15
Barreno de perforación	\$ 15.40	\$ 9.87
Máquina de perforación	\$ 8.65	\$ 5.55
Broca (38 mm)	\$ 7.87	\$ 5.04
Broca (41mm)	\$ 0.79	\$ 0.51
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>\$ 104.71</b>	<b>\$ 67.65</b>

2.4.2.9.3 *Costo de Voladura.*

**Tabla 37**

*Explosivos y accesorios de voladura*

	<b>Und</b>	<b>Cant.</b>	<b>\$/und</b>	<b>Costo por Disparo</b>
<b>Examon P</b>	Kg	40.33	\$ 0.80	\$ 32.26
<b>Semigelatina 65 1" x 7"</b>	Und	41	\$ 0.35	\$ 14.35
<b>Fanel</b>	Und	41	\$ 1.50	\$ 61.50
<b>PentaCord</b>	m	10	\$ 0.40	\$ 4.00
<b>Carmex 6ft</b>	Und	1	\$ 0.55	\$ 0.55
<b>Mecha Rápida</b>	m	5	\$ 0.31	\$ 1.55
<b>Total</b>				\$ 114.21

#### 2.4.2.9.4 Costos de implementos de seguridad

**Tabla 38**

*Costos de implementos de seguridad*

Implementos	Cant.	\$/Und.	Costo total	Duración guardias	\$/gdia	costo/disparo
Casco minero	3	S/ 32.20	S/ 96.60	1560	S/ 0.06	S/ 0.03 \$ 0.01
Tapones para oído(par)	3	S/ 1.69	S/ 5.07	52	S/ 0.10	S/ 0.05 \$ 0.01
Anteojos de Seguridad	3	S/ 9.32	S/ 27.96	156	S/ 0.18	S/ 0.09 \$ 0.03
Respirador 3m Cilicona	3	S/ 50.85	S/ 152.55	312	S/ 0.49	S/ 0.24 \$ 0.07
Filtro para respirador 2091 3M	3	S/ 18.00	S/ 54.00	6	S/ 9.00	S/ 4.50 \$ 1.29
Guantes de cuero (par)	3	S/ 5.00	S/ 15.00	13	S/ 1.15	S/ 0.58 \$ 0.16
Botas de jebe (par)	3	S/ 73.00	S/ 219.00	104	S/ 2.11	S/ 1.05 \$ 0.30
Mameluco	3	S/ 40.68	S/ 122.04	104	S/ 1.17	S/ 0.59 \$ 0.17
Lampara a batería	3	S/ 145.00	S/ 435.00	1560	S/ 0.28	S/ 0.14 \$ 0.04
Correa porta lámparas	3	S/ 10.17	S/ 30.51	936	S/ 0.03	S/ 0.02 \$ 0.00
<b>Total</b>						S/ 7.29 \$ 2.08

#### 2.4.2.9.5 *Costo total*

El costo total de perforación y voladura que se viene manejando actualmente en la unidad minera subterránea es en promedio de \$ 237.81 dólares por disparo.

**Tabla 39**

*Resumen del costo total de perforación y voladura*

DESCRIPCION	USD \$/ DISPARO
1. Costo de mano de obra	\$ 16.80
2. Costo de Perforación	\$ 104.71
3. Costo de voladura	\$ 114.21
4. Costo de Implementos de Seguridad	\$ 2.08
<b>TOTAL (\$)</b>	\$ 237.81

### 2.4.2.10 Costos de perforación y voladura con la malla propuesta.

#### 2.4.2.10.1 Costos de Mano de obra requerido.

**Tabla 40**

*Costos de mano de obra propuesto*

	Remuneración Diaria		Costo/mes		Horas efectivas de trabajo	Tiempo de perforación por taladro	N° de taladros	costo por minuto	Costo total por disparo		
<b>Perforista</b>	S/	120.00	S/	3,600.00	\$	1,028.57					
<b>Ayudante Perf. 1</b>	S/	80.00	S/	2,400.00	\$	685.71	12 horas	3.36 minutos	40	0.11	\$ 14.93
<b>Ayudante Perf. 2</b>	S/	80.00	S/	2,400.00	\$	685.71					
<b>Total</b>			S/	8,400.00	\$	2,400.00					

Tipo de cambio 1\$= S/ 3.5

El costo total de mano de obra por frente perforado es de 14.93 \$/disparo.

### 2.4.2.10.2 Costo de Perforación.

#### Costo de aire comprimido.

**Tabla 41**

*Parámetros para de aire comprimido propuesta*

Parámetros				
Costo aire comprimido (\$/hora)		Tiempo de Perforación por Taladro (h)	Tiempo de Aire por disparo (h)	Avance de Perforación (m)
28.57	\$/hrs	0.056	2.24	1.65

**Tabla 42**

*Cálculo del costo de aire comprimido con la malla propuesta*

Costo de aire comprimido							
Costo por metro perforado		Costo por taladro		Costo por Disparo		Costo por metro de avance	
0.97	\$/m	1.60	\$/Tal	\$64.00	\$/dis	38.79	\$/m

El costo de aire comprimido de la perforadora Jack leg YT29 es de 64.00 \$/disparo.

### Costo del desgaste del barreno de perforación

**Tabla 43**

*Parámetros para calcular el desgaste del barreno de perforación propuesto*

Parámetros	
Precio (\$)	Rendimiento (p.p)
80.25	1200

**Tabla 44**

*Cálculos para el desgaste del barreno de perforación propuesto (6 pies)*

Costo del desgaste del barreno de perforación - Barra cónica 6 pies								
costo de depreciación		Costo por metro perforado		Costo por taladro		Costo por disparo		Costo por metro de avance
0.07	\$/p.p	0.22	\$/m	0.36	\$/Tal	\$14.48	\$/Disparo	8.78 \$/m

El costo por disparo de del desgaste del barreno de perforación es de 14.48 \$/disparo

## Costo de desgaste de una máquina de perforación

**Tabla 45**

*Parámetros para calcular el costo del desgaste de la máquina de perforación propuesta*

Parámetros			
Tipo de maquina	Precio (\$)	Vida útil (p.p)	Depreciación (%)
Jack leg YT29	\$ 4,350.00	60000	70

**Tabla 46**

*Cálculos para el desgaste de la máquina de perforación propuesta*

Costo de desgaste de una Perforadora Jack leg YT29											
Costo de depreciación		Costo de mantenimiento		Costo por metro perforado		Costo por taladro		Costo por Disparo		Costo por metro de avance	
0.07	\$/m	0.05	\$/m	0.12	\$/m	0.20	\$/taladro	\$8.13	\$/disparo	5.21	\$/m

El costo por disparo de del desgaste de la máquina de perforación es de 8.13 \$/disparo

### Costo por consumo de broca de 38 mm

**Tabla 47**

*Parámetros para calcular el costo del consumo de broca propuesta*

Parámetros		
Diámetro de broca (mm)	Precio (\$)	Vida útil (p.p)
38	\$ 18.75	500

**Tabla 48**

*Cálculos para el costo del consumo de broca propuesta*

Costo por consumo de Broca cónica 38mm				
Costo de depreciación	Costo por metro perforado	Costo por taladro	Costo por disparo	Costo por metro de avance
0.04 \$/p.p	0.12 \$/m	0.20 \$/Tal	\$7.71 \$/Disparo	4.68 \$/m

- El costo por disparo del consumo de broca de 38mm es de 7.71 \$/disparo.

### Costo por consumo de broca de 51 mm

**Tabla 49**

*Parámetros para calcular el costo del consumo de broca propuesta (51mm)*

Parámetros		
Diámetro de broca (mm)	Precio (\$)	Vida útil (p.p)
51	\$ 27.88	500

**Tabla 50**

*Cálculos para el costo del consumo de broca propuesta (51mm)*

Costo por consumo de Broca cónica 51mm				
Costo de depreciación	Costo por metro perforado	Costo por taladro	Costo por disparo	Costo por metro de avance
0.04	0.13	0.22	0.60	0.37 \$/m
\$/p.p	\$/m	\$/Tal	\$/disparo	

- El costo por disparo del consumo de broca de 51mm es de 0.60 \$/disparo.

## Resumen de costos de perforación con la malla propuesta.

**Tabla 51**

*Resumen de costos de perforación con la malla propuesta*

DESCRIPCION	USD \$/ Disparo		USD \$/ Metro	
<b>Aire comprimido</b>	\$	64.00	\$	38.79
<b>Barreno de perforación</b>	\$	14.48	\$	8.78
<b>Máquina de perforación</b>	\$	8.13	\$	5.21
<b>Broca (38 mm)</b>	\$	7.71	\$	4.68
<b>Broca (51mm)</b>	\$	0.60	\$	0.37
<b>TOTAL (\$)</b>	\$	94.93	\$	57.97

2.4.2.10.3 *Costos de voladura.*

**Tabla 52**

*Explosivos y accesorios de voladura*

	Und	Cant.	\$/und	Costo por Disparo
<b>Examon P</b>	Kg	23.16	\$ 0.80	\$ 18.53
<b>Semigelatina 65 1" x 7"</b>	Und	38	\$ 0.35	\$ 13.30
<b>Fanel</b>	Und	38	\$ 1.50	\$ 57.00
<b>PentaCord</b>	m	10	\$ 0.40	\$ 4.00
<b>Carmex 6 ft</b>	Und	1	\$ 0.55	\$ 0.55
<b>Mecha Rápida</b>	m	5	\$ 0.31	\$ 1.55
<b>Total</b>				\$ 94.93

- El costo de voladura es de \$ 94.93 dólares por disparo.

2.4.2.10.4 *Costos de implementos de seguridad*

**Tabla 53**

*Costos de implementos de seguridad*

Implementos	Cant.	\$/Und.	Costo total	Duración guardias	\$/gdia	costo/disparo
Casco minero	3	S/ 32.20	S/ 96.60	1560	S/ 0.06	S/ 0.03 \$ 0.01
Tapones para oído(par)	3	S/ 1.69	S/ 5.07	52	S/ 0.10	S/ 0.05 \$ 0.01
Anteojos de Seguridad	3	S/ 9.32	S/ 27.96	156	S/ 0.18	S/ 0.09 \$ 0.03
Respirador 3m Cilicona	3	S/ 50.85	S/ 152.55	312	S/ 0.49	S/ 0.24 \$ 0.07
Filtro para respirador 2091 3M	3	S/ 18.00	S/ 54.00	6	S/ 9.00	S/ 4.50 \$ 1.29
Guantes de cuero (par)	3	S/ 5.00	S/ 15.00	13	S/ 1.15	S/ 0.58 \$ 0.16
Botas de jebe (par)	3	S/ 73.00	S/ 219.00	104	S/ 2.11	S/ 1.05 \$ 0.30
Mameluco	3	S/ 40.68	S/ 122.04	104	S/ 1.17	S/ 0.59 \$ 0.17
Lampara a batería	3	S/ 145.00	S/ 435.00	1560	S/ 0.28	S/ 0.14 \$ 0.04
Correa porta lámparas	3	S/ 10.17	S/ 30.51	936	S/ 0.03	S/ 0.02 \$ 0.00
<b>Total</b>						S/ 7.29 \$ 2.08

2.4.2.10.5 *Costo total*

**Tabla 54**

*Resumen del costo total de perforación y voladura propuesta*

DESCRIPCION	USD \$/ DISPARO
1. Costo de mano de obra	\$ 14.93
2. Costo de Perforación	\$ 94.93
3. Costo de voladura	\$ 94.93
4. Costo de Implementos de Seguridad	\$ 2.08
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>\$ 206.87</b>

### 3 RESULTADOS

#### *Roger homlberg:*

Los resultados finales se presentan en el siguiente cuadro resumen.

**Tabla 55**

*Resultados al aplicar el método de Roger Holberg*

DATOS					
<b>Parámetros</b>	Ancho de la labor		3.00	m	
	Altura de la labor		3.00	m	
	Diámetro de perforación "d1"	d1	0.038	m	
	Longitud de la barra	6	1.83	m	
	N de alivio		2	unidad	
	Diam alivio "d2"	d2	0.051	m	
	Profundidad de los tiros (H)		1.737	m	
	Avance Efectivo (I)		1.650	m	
<b>Calculo 1ª cuadrante</b>					
<b>Arranque</b>	Burden practico	B1 prc	0.085	m	
	Espaciamiento W1	W1	0.121	m	
	<b>Calculo 2do cuadrante</b>				
	Burden practico	B2p	0.124	m	
	Espaciamiento W2	W2	0.261	m	
	<b>Calculo 3ª cuadrante</b>				
Burden practico	B3p	0.246	m		
Espaciamiento W3	W3	0.532	m		

---

**Calculo 4º cuadrante**

	Burden practico	B4p	0.392	m
	Espaciamiento W4	W4	0.931	m
	Número de Taladros en el Arranque			16
	Burden practico	BprcZ	0.859	m
<b>Arrastres</b>	Nº de arrastres		5.703	5
	Espaciamiento teorico (Sz)		0.795	m
	Espaciamiento teorico tiros de esquina (Se)		0.705	m
	Burden practico	Bpra_c	0.622	m
<b>Corona</b>	Nº de coronas	N_c	6.263	6
	Espaciamiento (S)	Sc	0.680	m
	Espaciamiento (S)	Scajas	0.580	m
<b>Cuadradores</b>	Burden practico	B_prac	0.622	
	Nº de perforaciones de caja	N_caj	3.665	6
	Burden Practico		0.805	m
<b>Auxiliares de Cuadradores</b>	Nº tiros aux de cajas		2.884	2
	Espaciamiento aux de cajas		0.466	m
	Burden practico		0.896	m
<b>Auxiliares de Corona</b>	Nº de tiros aux de corona		3.506	3
	Espaciamiento aux de corona		0.878	m

---

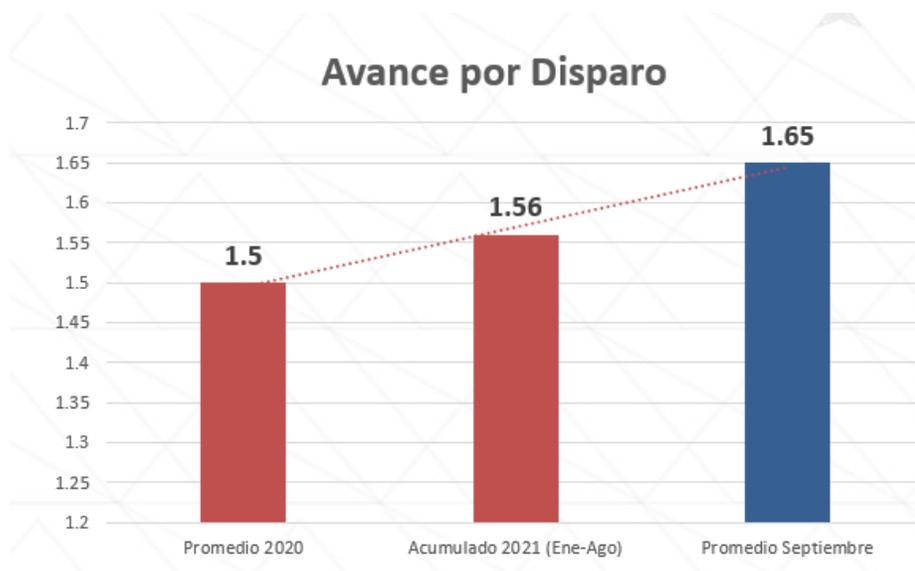
### 3.1 Análisis de Avance Lineal de Perforación.

En el cuadro y grafico adjunto se puede apreciar los resultados del avance lineal por disparo, los cuales se midieron en campo en los 7 frentes de perforación en los que se aplicó la malla propuesta. Como se observa se tiene un promedio de 1.65m de avance por disparo a comparación del promedio con el que se venía trabajando en la Unidad Minera de 1.56m de avance, logrando una mejora en el avance de 9cm, lo que significa una eficiencia de voladura del 95%.

**Tabla 56**

*Avance por Disparo*

Indicador	Promedio 2020	Acumulado 2021 (Ene-Ago)	Septiembre 2021							Promedio Septiembre	Mejora
			CAM 875 SW	GL 820 NE	RP 565	XC 945 NW	GL 088 NE	GL 108 SW	XC 080 S		
m/dp	1.5	1.56	1.65	1.65	1.62	1.7	1.62	1.64	1.63	<b>1.65</b>	<b>106%</b>



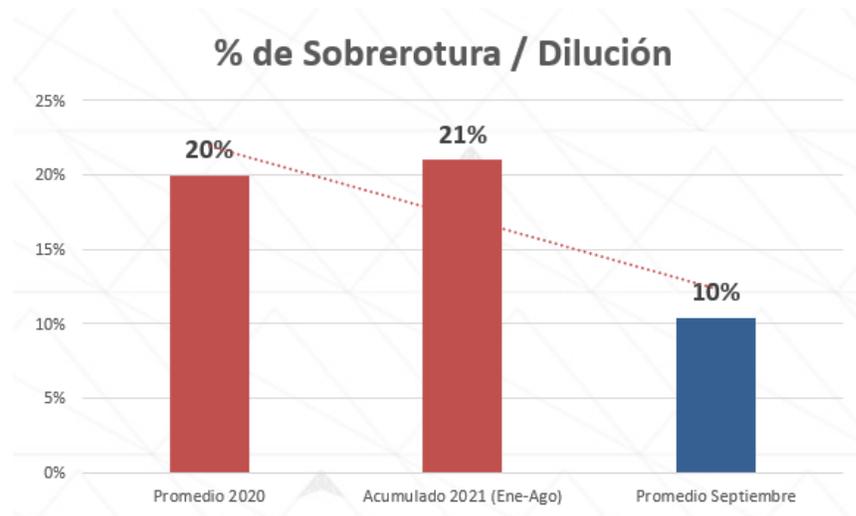
### 3.2 Análisis de Sobre rotura / sobre dilución

De igual manera en el siguiente grafico se observa los resultados obtenidos de sobre rotura y sobre dilución en los siete frentes de perforación en los que se aplico la malla propuesta. Como se puede apreciar, se logró disminuir la sobre rotura y por ende la sobre dilución de un 20% a un 10% gracias a la reducción de carga lineal de explosivo en los taladros de contorno.

**Tabla 57**

*Análisis de Sobre Rotura/Dilución*

Sobre Rotura / Dilución											
Indicador	Promedio 2020	Acumulado 2021 (Ene-Ago)	Septiembre 2021							Promedio Septiembre	Mejora
			CAM 875 SW	GL 820 NE	RP 565	XC 945 NW	GL 088 NE	GL 108 SW	XC 080 S		
%	20%	21%	11%	10%	8%	10%	13%	12%	9%	10%	201%



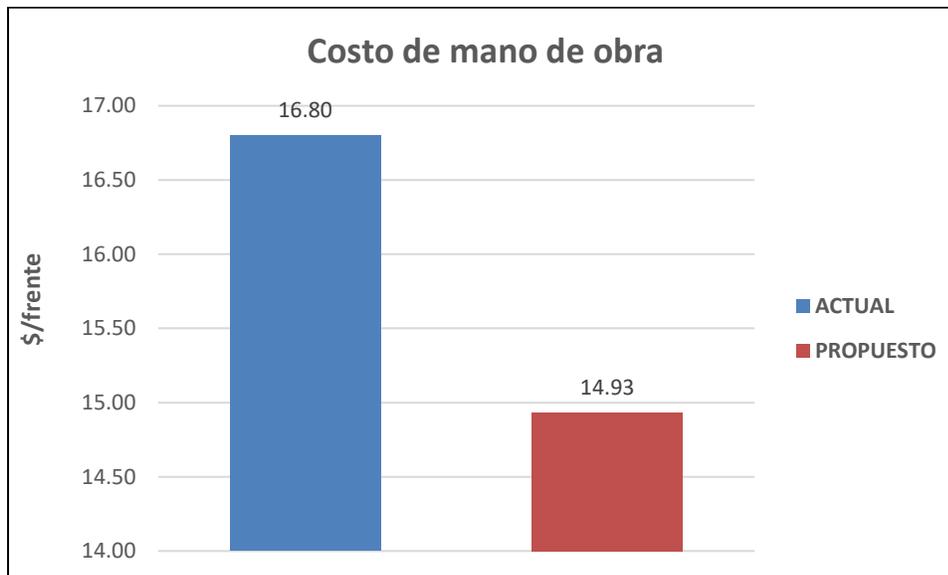
### 3.3 Comparación de costos en el proceso de perforación y voladura

#### 3.3.1 Costo de la mano de obra.

**Tabla 58**

*Comparación de costos de mano de obra malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Mano de obra	16.80	14.93	\$/disparo
Diferencia		1.87	\$/disparo



**Gráfico 1** *Comparación de costos de mano de obra malla actual vs malla propuesta*

En el grafico se puede apreciar una reducción de US\$ 1.87 por frente perforado en lo que respecta a mano de obra, lo que significa una reducción del 11%.

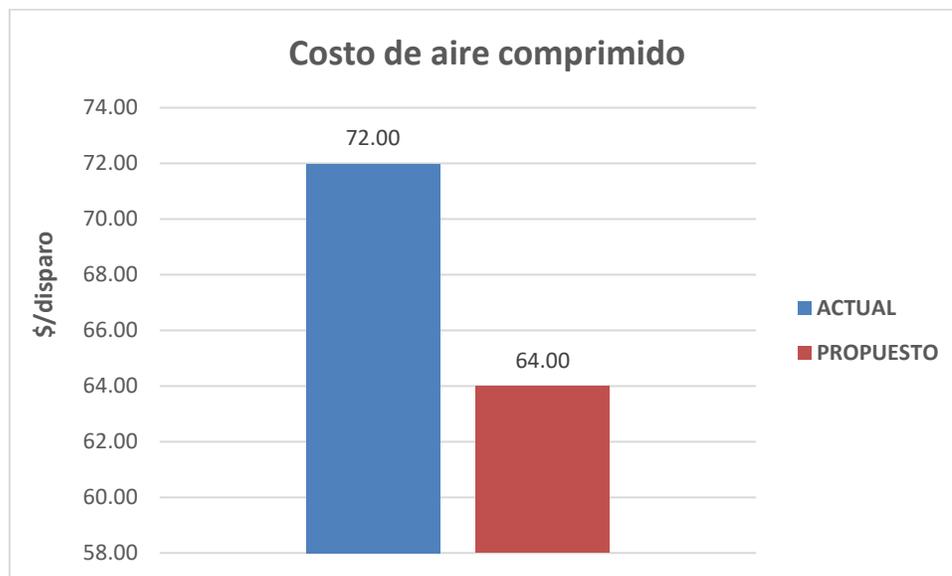
### 3.3.2 Costos de Perforación.

#### Costos de consumo de aire comprimido.

**Tabla 59**

*Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Aire comprimido	72.00	64.00	\$/disparo
Diferencia		8.00	\$/disparo



**Gráfico 2** *Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla actual vs malla propuesta*

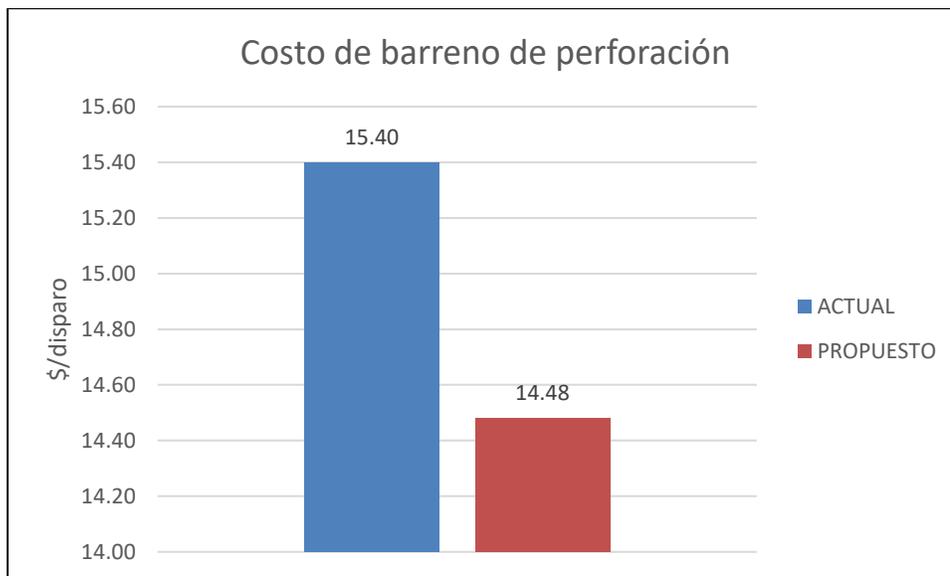
En el grafico se puede apreciar una reducción de US\$ 8.00 por disparo en lo que respecta al costo de aire comprimido, lo que significa una reducción del 11%.

## Costos de desgaste de barreno

**Tabla 60**

*Comparación de costos de desgaste de barreno malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Barreno de perforación	15.40	14.48	\$/disparo
Diferencia		0.92	\$/disparo



**Gráfico 3** *Comparación de costos de desgaste de barreno malla actual vs malla propuesta*

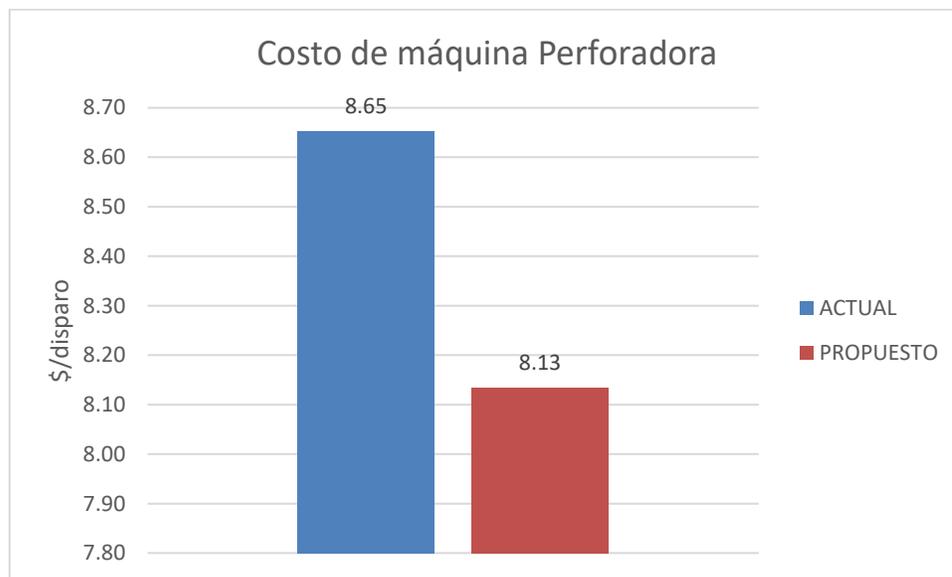
En el grafico se puede apreciar una reducción de US\$ 0.92 por disparo en lo que respecta al costo de barreno de perforación de 6", lo que significa una reducción del 6%.

## Costos de desgaste de la máquina perforadora

**Tabla 61**

*Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Máquina Perforadora	8.65	8.13	\$/disparo
Diferencia		0.52	\$/disparo



**Gráfico 4** *Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla actual vs malla propuesta*

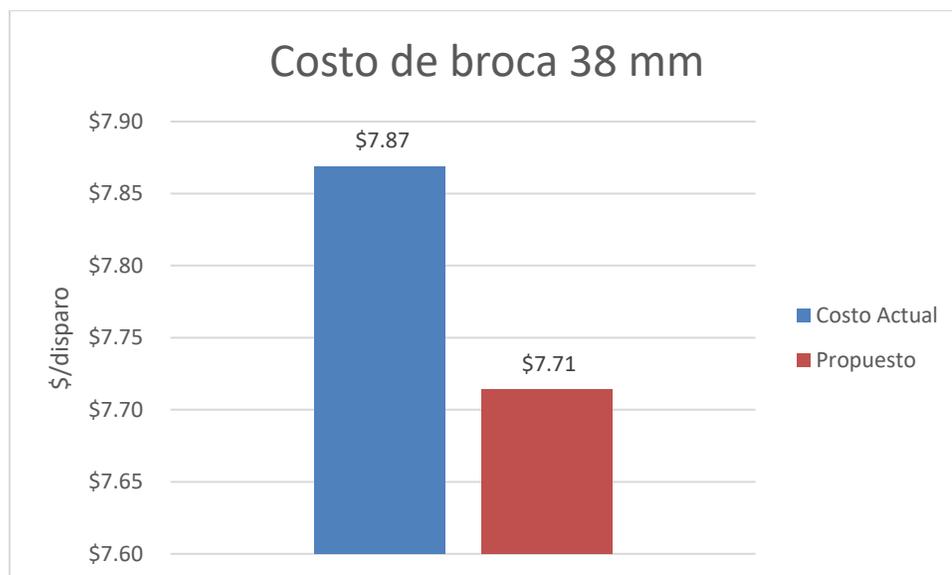
En el grafico se puede apreciar la reducción del costo en el uso de máquina de perforación de US\$ 0.52 por disparo. Lo que significa una reducción de 6%.

## Costos por consumo de brocas de 38 mm

**Tabla 62**

*Comparación de costos por consumo de brocas de 38mm malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Broca 38 mm	7.87	7.71	\$/dis
Diferencia		0.16	\$/dis



**Gráfico 5** *Comparación de costos por consumo de brocas de 38mm malla actual vs malla propuesta*

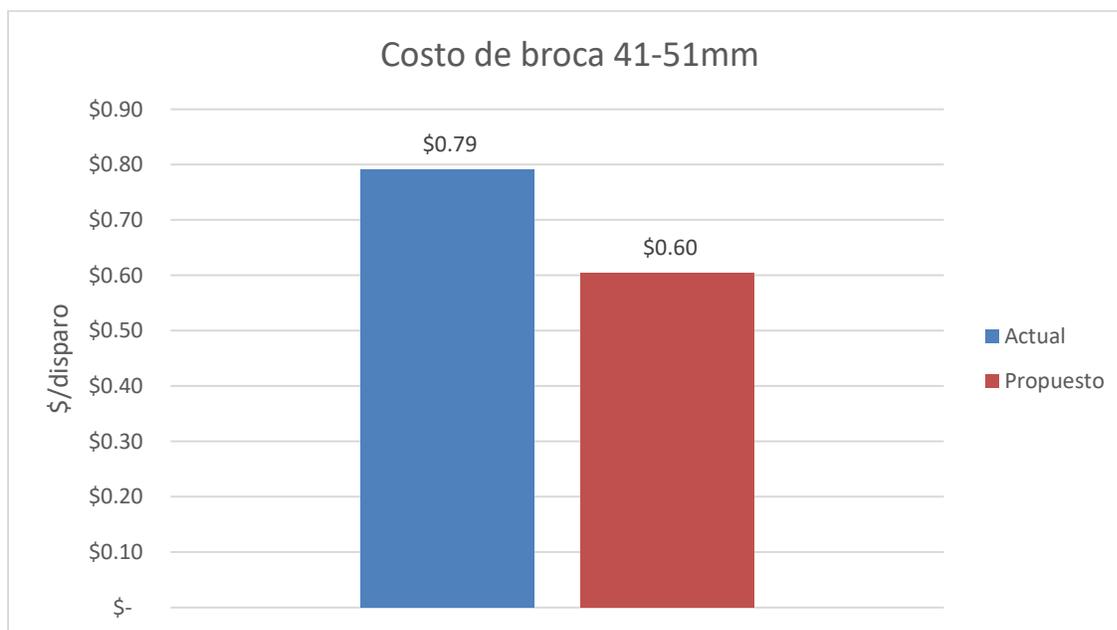
En el grafico se puede apreciar una reducción de US\$ 0.16 por disparo en el costo de broca de 38mm. Lo que significa una reducción de 3%.

### Costo por consumo de broca de 51mm.

**Tabla 63**

*Comparación de costos por consumo de brocas de 51mm malla actual vs malla propuesta*

DESCRIPCION	ACTUAL	PROPUESTA	UNIDADES
Broca 51 mm	0.79	0.60	\$/dis
<b>Diferencia</b>		<b>0.19</b>	<b>\$/dis</b>



**Gráfico 6** *Comparación de costos por consumo de brocas de 51mm malla actual vs malla propuesta*

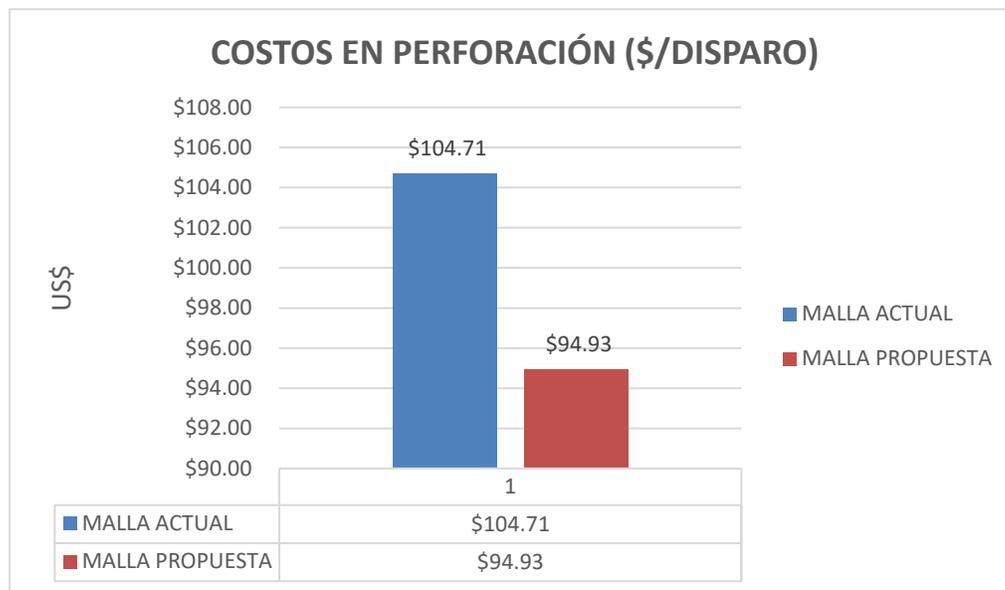
En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el costo de broca de 51mm, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 0.19 por disparo. Lo que significa una reducción de 24%.

## Resumen del costo de la perforación de malla empírica vs malla propuesta.

**Tabla 64**

*Resumen de costos en perforación (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta*

DESCRIPCION	COSTO (\$/disparo)
MALLA EMPÍRICA	104.71
MALLA PROPUESTA	94.93
DIFERENCIA (\$)	9.78



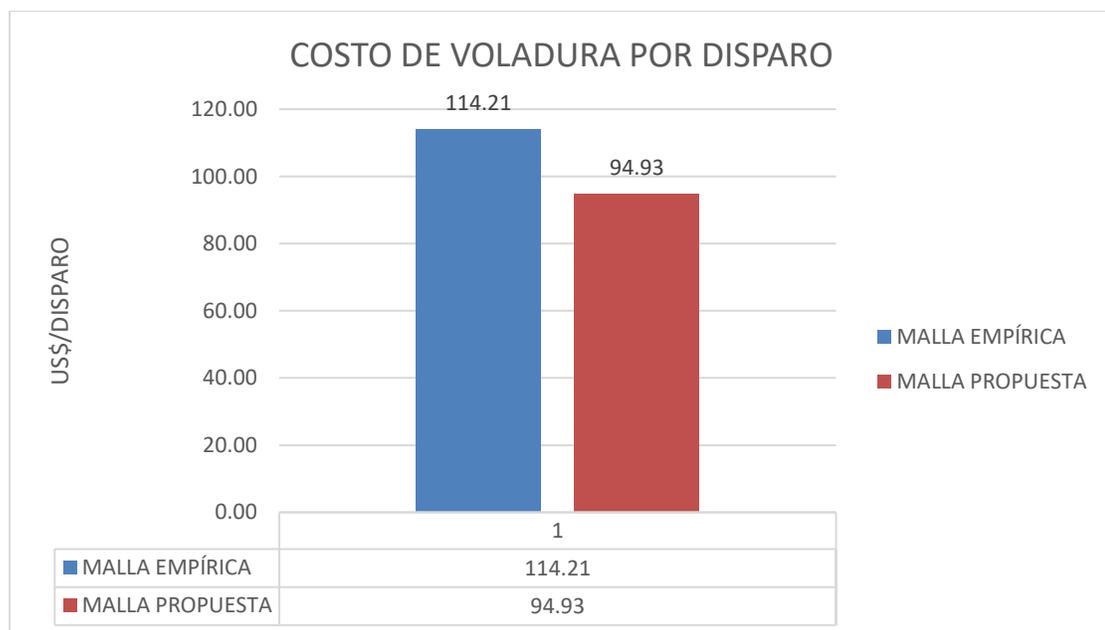
**Gráfico 7** *Resumen de costos en perforación (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta*

El costo de perforación por disparo se reduce en 9.78 \$/disparo y estadísticamente disminuyó un 9% Costos en voladura.

**Tabla 65**

*Resumen de costos en voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta*

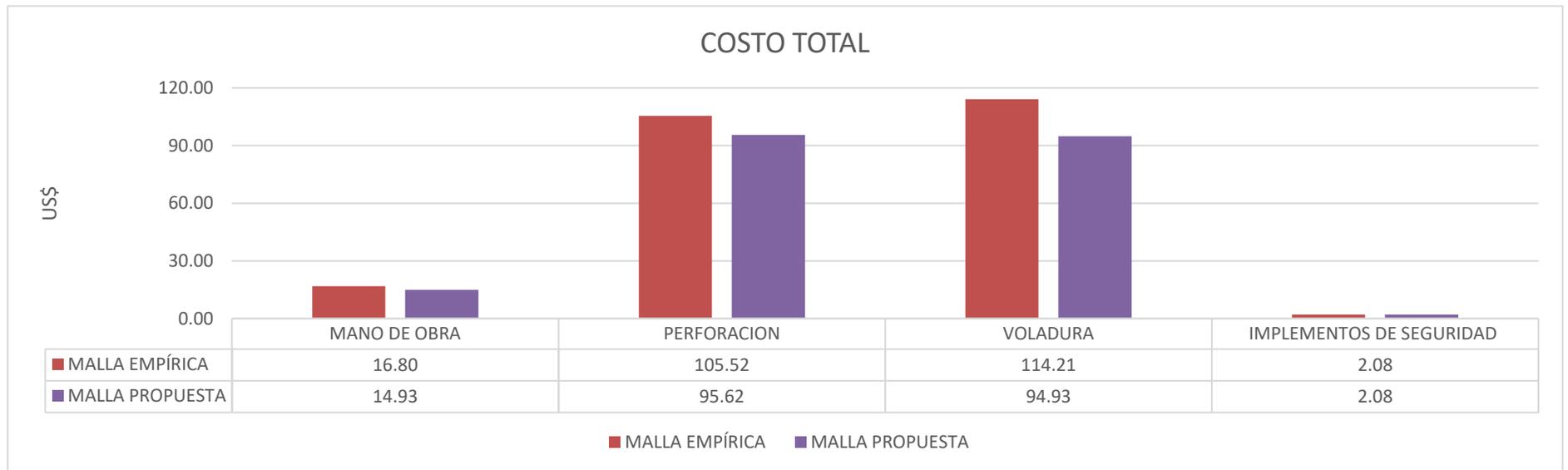
DESCRIPCION	COSTO (\$/disparo)
MALLA EMPÍRICA	114.21
MALLA PROPUESTA	94.93
DIFERENCIA (\$)	19.29



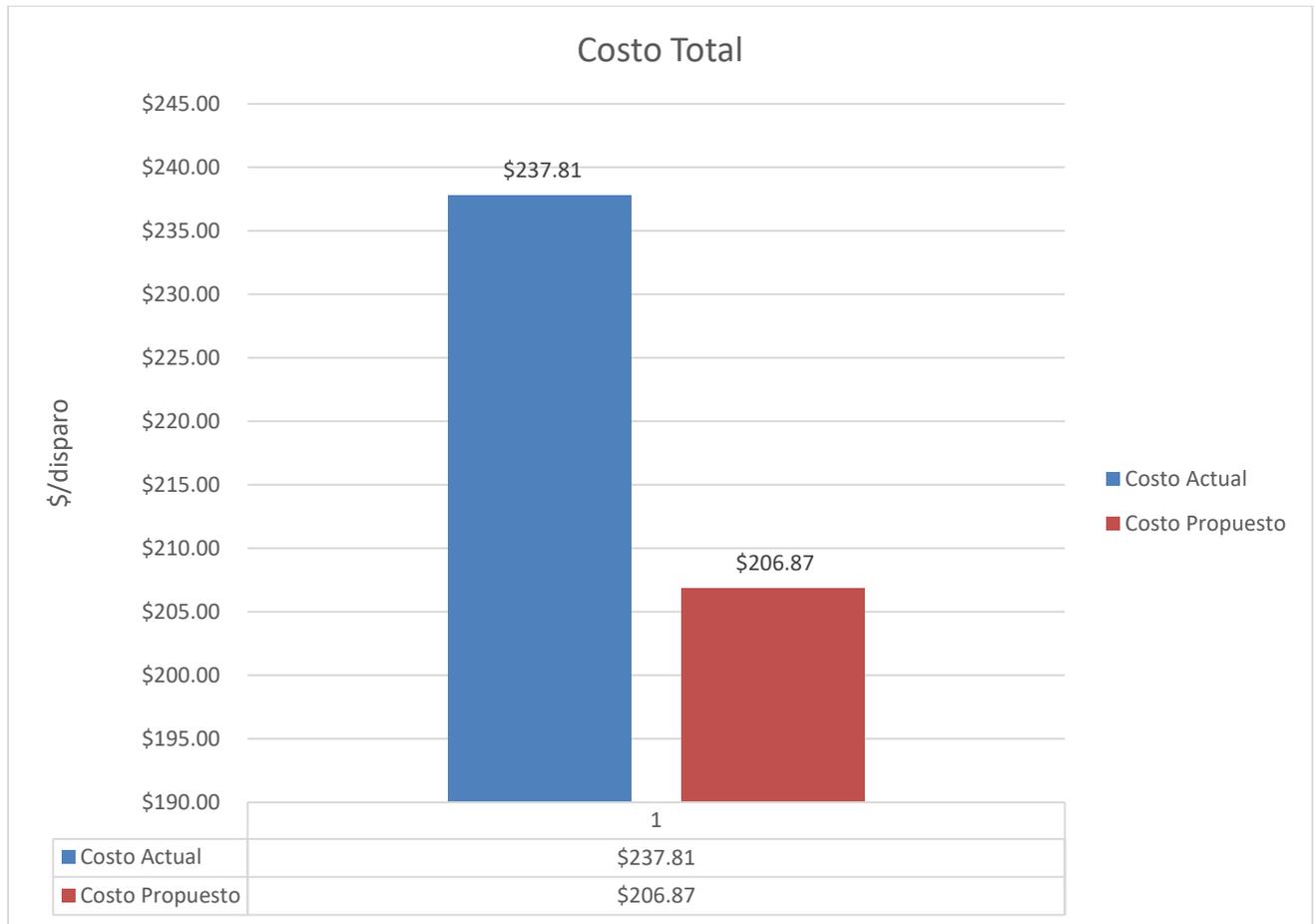
**Gráfico 8** *Resumen de costos en voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta.*

En el grafico se puede observar la variación del costo de la voladura por disparo, teniendo una diferencia de 19.28 \$/disparo, en términos estadísticos representa una reducción del el 17%.

### 3.3.3 Costos totales de perforación y voladura.



**Gráfico 9** Resumen total de costos de perforación y voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta



**Gráfico 10** *Costo total de los gastos operativos de perforación y voladura (\$/disparo) de malla empírica vs malla propuesta*

El costo total de los gastos operativos se ha reducido en 31.06 \$/disparo y estadísticamente la reducción es de 13%.

### 3.3.4 Análisis de los costos totales de perforación y voladura a corto-mediano plazo

**Tabla 66**

*Avance programado para el mes de septiembre*

<b>DATOS GENERALES</b>		
<b>Avance Programado - Sep</b>	600	Metros
<b>Avance por Disparo</b>	1.65	Metros
<b># de Disparos</b>	364	Disparos

**Tabla 67**

*Flujo del ahorro con respecto a la perforación y voladura.*

## PROYECCION A CORTO - MEDIANO PLAZO

	TOTAL (\$/disparo)	1 MES SEPTIEMBRE	2 MESES OCTUBRE	3 MESES NOVIEMBRE	4 MESES DICIEMBRE
<b>MALLA ACTUAL</b>	\$ 237.81	\$ 86,474.88	\$ 172,949.76	\$ 259,424.64	\$ 345,899.53
<b>MALLA PROPUESTA</b>	\$ 206.87	\$ 75,226.53	\$ 150,453.05	\$ 225,679.58	\$ 300,906.10
<b>AHORRO</b>	\$ 30.93	\$ 11,248.36	\$ 22,496.71	\$ 33,745.07	\$ 44,993.42

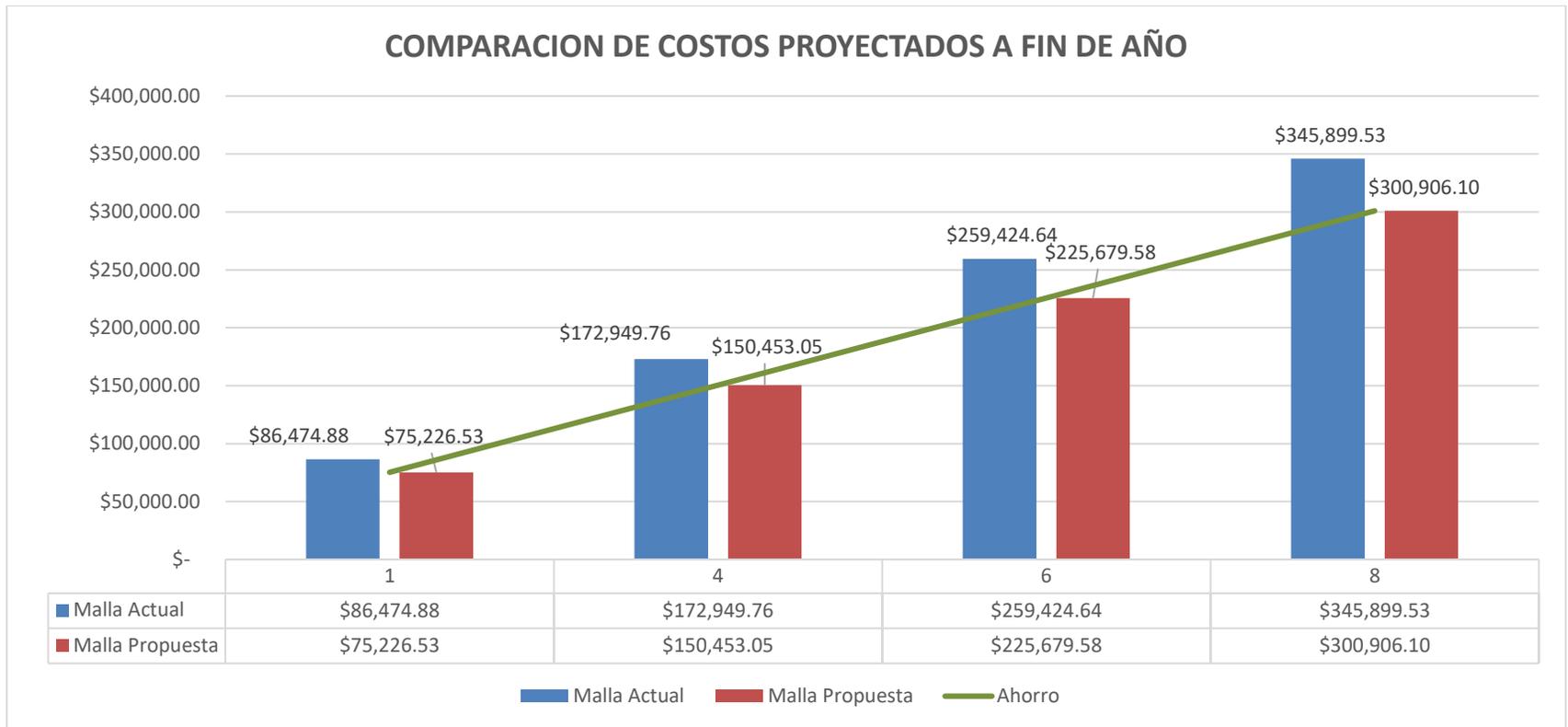
En la tabla se puede observar un ahorro de \$ 44,993.42 al implementar nuestra malla a lo largo de 4 meses.

**Tabla 68**

*Resumen del ahorro proyectado.*

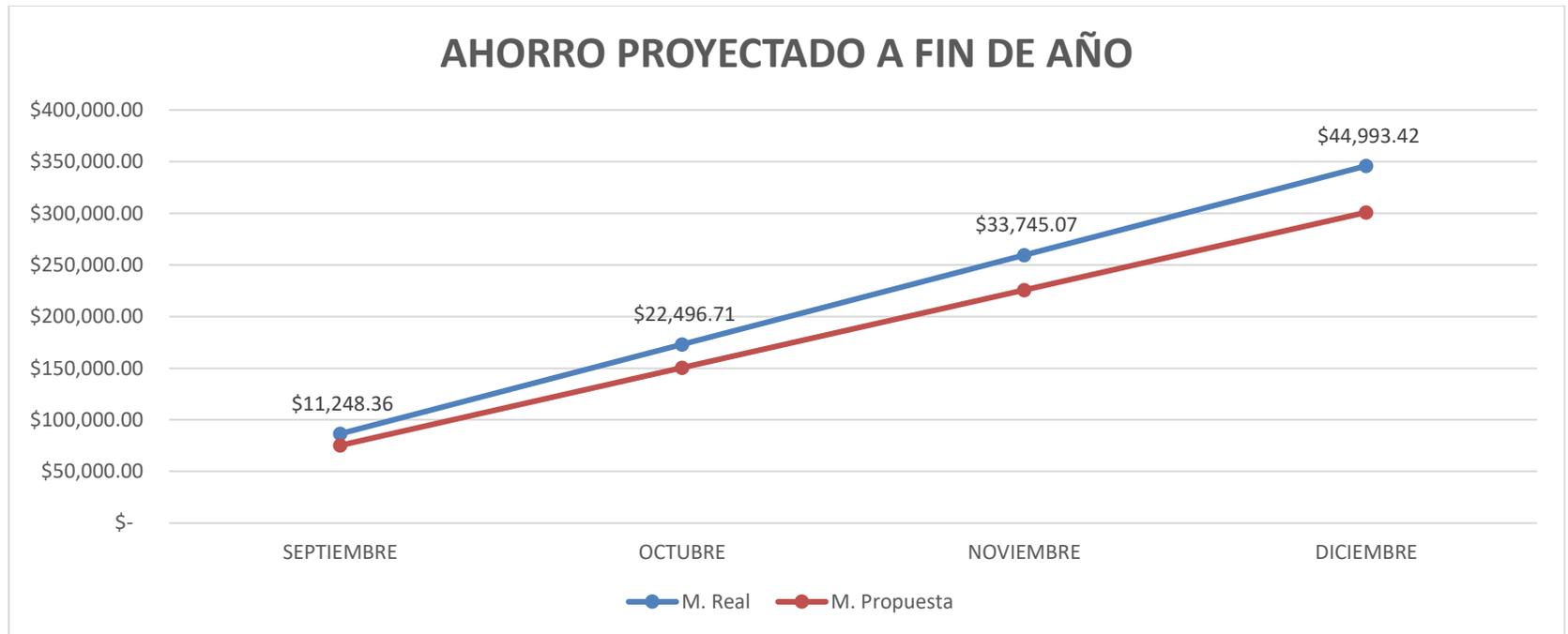
<b>PROYECCION A CORTO - MEDIANO PLAZO</b>					
		<b>1 MES</b>	<b>2 MESES</b>	<b>3 MESES</b>	<b>4 MESES</b>
	<b>TOTAL (\$/disparo)</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>
<b>AHORRO</b>	\$ 30.93	\$ 11,248.36	\$ 22,496.71	\$ 33,745.07	\$ 44,993.42

En la tabla se ve el progreso del ahorro de costos al implementarse la malla propuesta hasta en un tiempo de 4 meses.



**Gráfico 11** Comparación de costos proyectados a fin de año malla actual vs malla propuesta

En el gráfico se puede apreciar las variaciones entre los costos en un periodo de los meses de Setiembre-Diciembre, estos costos totales incluyen las actividades de perforación y voladura.



**Gráfico 12** ahorro proyectado a fin de año malla actual vs malla actual

En la imagen se puede apreciar el ahorro a corto y mediano plazo que la unidad minera puede alcanzar al aplicar nuestra propuesta de malla de perforación.

## 4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En base a los resultados obtenidos y presentados en el apartado anterior, se confirmó la hipótesis general, la cual establece que el diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura logrará optimizar significativamente los costos de estas operaciones en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una unidad minera de La Libertad - 2021. Estos resultados guardan relación con lo que dice (Chipana Tito, 2015) en su tesis “Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A” quien concluye que, con la determinación de una malla de perforación y una carga explosiva adecuada, ha conseguido reducir los costos de ejecución de la galería en estudio.

Para el objetivo general se demostró que con el diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura fue posible optimizar los costos en un 13%, es decir de US\$ 237.81 a US\$ 206.87 por disparo realizado, lo que significa un ahorro de US\$ 11,248.36 al concluir con el avance planificado para el mes de septiembre según el programa anual de la unidad minera subterránea. Este resultado se sustenta con lo dicho por (Larijo Quenaya, 2019), que en su tesis concluye con una reducción de 242.92 US\$/m a 215.83 US\$/m en las operaciones de perforación y voladura después de haber aplicado un nuevo diseño de malla de perforación.

La correcta distribución de taladros fue clave; Apaza (2020) en su tesis “Mejora de la Perforación Y Voladura, Mediante el Rediseño de Malla y Aplicación del Corte Cilíndrico en Labores de Avance Unidad de Producción Alpacay - Minera Yanaquihua” redujo el número de taladros de 46 tal/disp. a 40 tal/disp. utilizando el corte cilíndrico, tomando en consideración el macizo rocoso y las propiedades de los explosivos. Así mismo, en el presente trabajo se

consiguió reducir de 45 a 40 taladros por disparo, utilizando el modelo matemático de Roger Holmberg para el cálculo y diseño de malla, esta reducción de taladros influyo de manera positiva en la optimización de los costos de perforación y por lo tanto de los costos generales.

En base a la realidad de la unidad minera subterránea, se puede observar también que la aplicación de la nueva malla de perforación y voladura no solo reduce los costos, sino que también mejora los resultados post voladura.

Por un lado, la aplicación del método de Roger Homlberg mejoró el grado de fragmentación del material volado y la sobre rotura en la sección de la labor y por otro lado, logró aumentar el avance por disparo, de 1.56m a 1.65 metros en promedio, este resultado también fue comprobado por Quezada (2017), quien concluye en su investigación que la aplicación del modelo matemático de Roger Holmberg para diseñar adecuadamente la malla de perforación y distribuir la cantidad de explosivo ha incrementado el avance de 1.43 m a 1.70 m por disparo en frentes de Mina Poderosa.

## 4.2 Conclusiones

Después de aplicar el nuevo modelo de malla de perforación y voladura en las labores de preparación y desarrollo de los niveles de profundización 19 y 20 de una Unidad Minera de la Libertad-2021 se logró optimizar significativamente los costos en los procesos de perforación y voladura en 30.93 \$/disparo, obteniendo un ahorro de \$ 11,248.36 en el primer mes de aplicación.

Se diseñó y aplicó una nueva malla de perforación y voladura empleando el método matemático de Roger Holmberg en las labores de preparación y desarrollo de una unidad minera, con lo cual se logró reducir el número de taladros de 45 taladros/disparo a 40 taladros/disparo, por consiguiente, al disminuir la cantidad de taladros se redujeron los costos de mano de obra de 16.80 \$/disparo a 14.93 \$/disparo, es decir en un 11%, el costo de la perforación se redujo de 104.71 \$/disparo a 94.93 \$/disparo, reduciendo en un 9% y los costos de voladura se redujeron de 114.21 \$/disparo a 94.93 \$/disparo, reduciendo en un 17%.

Además, la aplicación del método de Roger Holmberg mejoró el grado de fragmentación del material volado, gracias a una mejor distribución de los taladros en el frente de perforación, una adecuada secuencia de iniciación de los taladros y un mejor aprovechamiento de la energía del explosivo, debido a que se realizó el cambio de la Semigelatina 65 por una Semexa 65 de mayor diámetro con el objetivo de lograr un mayor confinamiento del explosivo, evitando las voladuras secundarias y disminuyendo los gruesos de material.

En cuanto a la sobre rotura, se redujo en un 10% el daño en la sección de la labor post voladura, gracias a que se disminuyó la carga lineal de explosivo en los taladros de contorno (hastiales y corona). Por otro lado, se logró aumentar el avance por disparo, de 1.56m a 1.65

metros en promedio, debido a que se remplazó el tipo de arranque, de corte quemado a corte cilíndrico, aumentando el diámetro de los taladros de alivio para mejor la eficiencia de la voladura.

Por último, se realizó un análisis comparativo de costos entre el nuevo modelo de malla de perforación y voladura propuesto y la malla que se venía utilizando, en el cual se interpreta que la malla empírica tiene un costo de 237.81 \$/disparo y la malla propuesta 206.87 \$/disparo, lo que generó un ahorro de 30.93 \$/disparo, lo que significa un 13% en la reducción de los costos operativos de perforación y voladura.

## REFERENCIAS

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*.

APAZA MOSCOSO, E. Y. (2020). *MEJORA DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA, MEDIANTE EL REDISEÑO DE MALLA Y APLICACIÓN DEL CORTE CILÍNDRICO EN LABORES DE AVANCE UNIDAD DE PRODUCCIÓN ALPACAY - MINERA YANAQUIHUA*[Tesis de bachillerato, Universidad de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Nacional, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11673/MIapmoey.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS EN MINERÍA*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [http://oa.upm.es/21848/1/20131007\\_PERFORACION\\_Y\\_VOLADURA.pdf](http://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf)

Chipana Tito, R. M. (2015). *“DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA REDUCCIÓN DE COSTOS EN EL FRENTE DE LA GALERIA PROGRESO DE LA CONTRATA MINERA CAVILQUIS-CORPORACIÓN MINERA ANANEA S.A”*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana\\_Tito\\_Rudy\\_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1937/Chipana_Tito_Rudy_Milton.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Churata Mamani, J. (2013). *Diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo matemático de áreas de influencia en la empresa minera marsa*. [Tesis de bachillerato,

*Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*]. Repositorio Institucional, Arequipa.

Obtenido de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3850/MIchmaj056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De La Cruz Graus, O. (2018). *“OPTIMIZACIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA ESTANDARIZANDO MALLA PARA SECCIÓN 2.40m x 2.40m EN LA EMPRESA CANCER E.I.R.L. – MARSA”*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional, Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11054/DE%20LA%20CRUZ%20GRAUS%2c%20OSCAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Engineering, Split. (2012). *Manual JK Simblast – 2DBench*.

Engineers, I. S. (2008). *Manual del Especialista en Voladura*. Cleveland.

Exsa. (2017). *Manual Practico de Voladura*.

Gamarra Huatarongo, F. A. (2019). *Método de Holmberg para optimizar perforación y voladura en la galería 539 de la Unidad Minera Agromin La Bonita S.A.C.*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional, Huancayo.

Obtenido de

[http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6001/T010\\_76672437\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6001/T010_76672437_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Jáuregui Aquino, O. A. (2009). *"Reducción de los Costos Operativos en Mina, mediante la optimización de los Estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura"*[Tesis de bachillerato, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio

Intitucional, Lima. Obtenido de

[https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/696/JAUREGUI\\_OS\\_CAR\\_COSTOS\\_MINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/696/JAUREGUI_OS_CAR_COSTOS_MINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Larijo Quenaya, R. J. (2019). *Minimización de costos de perforación y voladura mediante el nuevo diseño de malla en el desarrollo del Crucero 627 de la minera Yanaquihua S.A.C. – Arequipa*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Antiplano]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11171>

Mamani Cariapaza, N. F. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE OPEX EN LABORES DE AVANCE HORIZONTAL APLICANDO EL MÉTODO DE ROGER HOLMBERG CON UN NUEVO DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y CONSUMO DE EXPLOSIVO EN LA EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. – AREQUIPA.*[Tesis de bachillerato, UNAP]. Repositorio Intitucional, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15341/Mamani\\_Cariapaza\\_Nayin\\_Frank.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15341/Mamani_Cariapaza_Nayin_Frank.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mendieta Nolasco, M. K. (2019). *APLICACIÓN DEL MÉTODO HOLMBERG PARA OPTIMIZAR LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA GALERÍA 218 NW, NIVEL 610 - MINA ACCHILLA, U.E.A. JULCANI, COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio Intitucional, Huaraz. Obtenido de [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3582/T033\\_74687570\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3582/T033_74687570_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Quezada Jacobo, W. U. (2017). *Optimizacion De Perforacion Y Voladura Aplicando El Modelo Matematico De Roger Holmberg En Frentes De 3.5m\*3m En Roca Tipo Ii Veta Papagayo. Mina Poderosa. 2017*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Intitucional. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10020>

Ramírez Malca, W. S., & Sandoval Rivera, J. R. (2020). *EVALUACIÓN TÉCNICA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS DE UNA MINA SUBTERRÁNEA EN CAJAMARCA – 2020*[Tesis de bachillerato, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Intitucional. Obtenido de [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24115/Ram%  
c3%adrez%20Malca%20Wan%20Seyni%20-%20Sandoval%20Rivera%20Juan%20Roberto.pdf?sequence=8&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24115/Ram%c3%adrez%20Malca%20Wan%20Seyni%20-%20Sandoval%20Rivera%20Juan%20Roberto.pdf?sequence=8&isAllowed=y)

Rivera Huirse, H. A. (2019). *OPTIMIZACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APLICANDO EL MODELO MATEMÁTICO DE ROGER HOLMBERG EN EL PROYECTO CENTRAL HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN III.*[Tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Antiplano]. Repositorio institucional, Puno. Obtenido de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10556/Rivera\\_Huirse\\_Harry\\_Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10556/Rivera_Huirse_Harry_Alex.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rojas Aparco, K., & Flores Solano, Y. P. (2017). *“DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA PARA LA REDUCCION DE COSTOS EN EL NIVEL 1590 CRUCERO 520 DE LA U.E.A. CAPITANA - CORPORACION LACES S.A.C. MINERIA Y CONSTRUCCION - CARAVELI - AREQUIPA”*[Tesis de bachillerato, Universidad

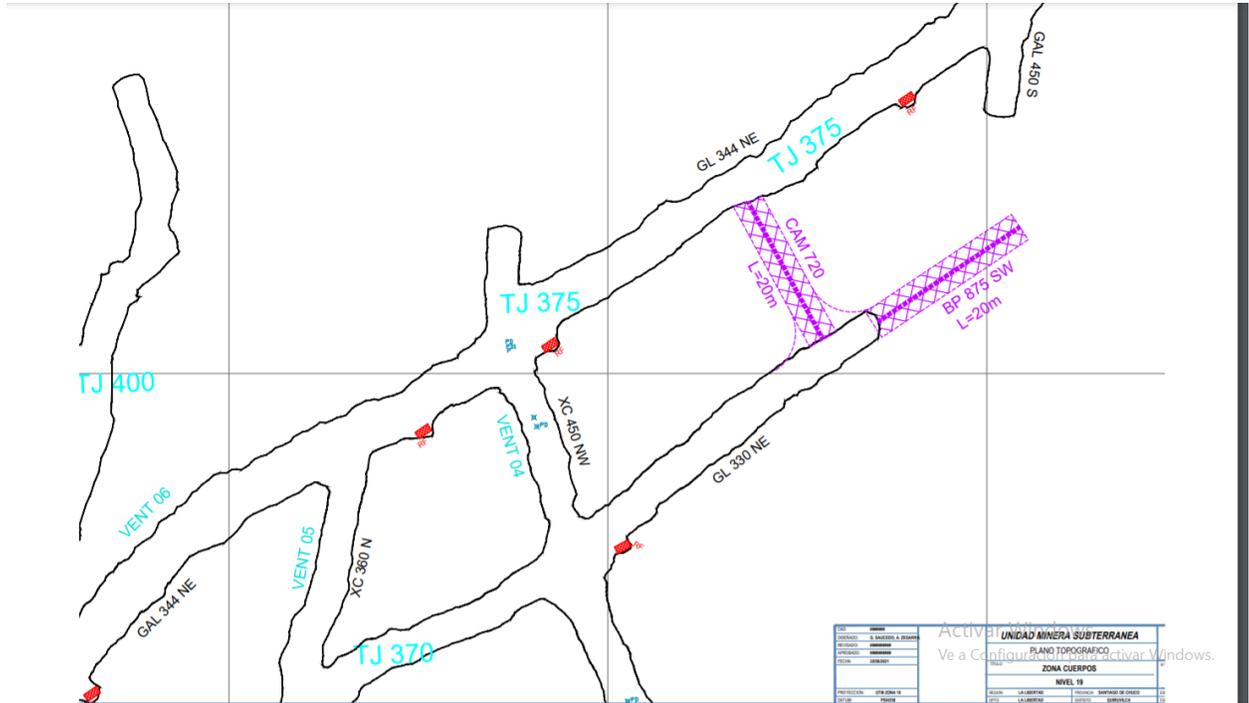
*Nacional de Huancavelica*]. Repositorio institucional, Huancavelica. Obtenido de  
<https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/1080/TP%20-%20UNH%20MINAS%200024.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Santana Orellana, L. E. (2014). “*DISEÑO DE MALLA PARA PERFORACIÓN Y VOLADURA DE FRENTES UTILIZANDO MODELO MATEMÁTICO DE HOLMBERG E ÍNDICE DE VOLABILIDAD DE LYLLI*” [tesis de bachillerato, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Intitucional, Huancayo. Obtenido de  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1340/TESIS%20DISE%c3%91O%20DE%20MALLA%20PARA%20PERFORACI%c3%93N%20Y%20VOLADURA%20DE%20FRENTES%20UTILIZANDO%20MODELO%20MATEM%c3%81TIC%20DE%20HOLM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

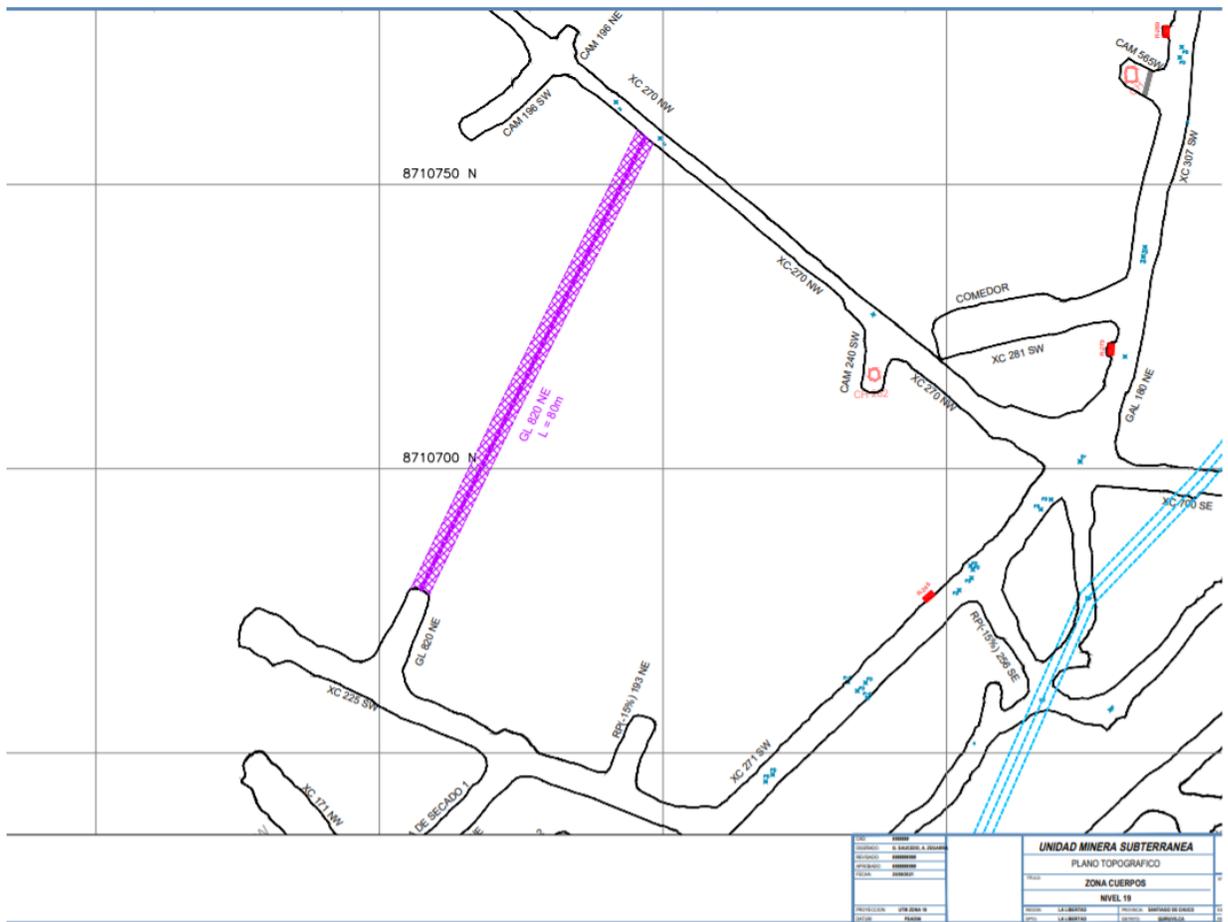
Umaña Tancaillo, E. I. (2014). “*REDUCCIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE COSTOS OPERATIVOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA MINERA YANAQUIHUA S.A.C. E.E. ADGEMINCO S.A.C.*” [Tesis de bachillerato, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Intitucional, Arequipa. Obtenido de  
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3940/MIumtaei095.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXOS

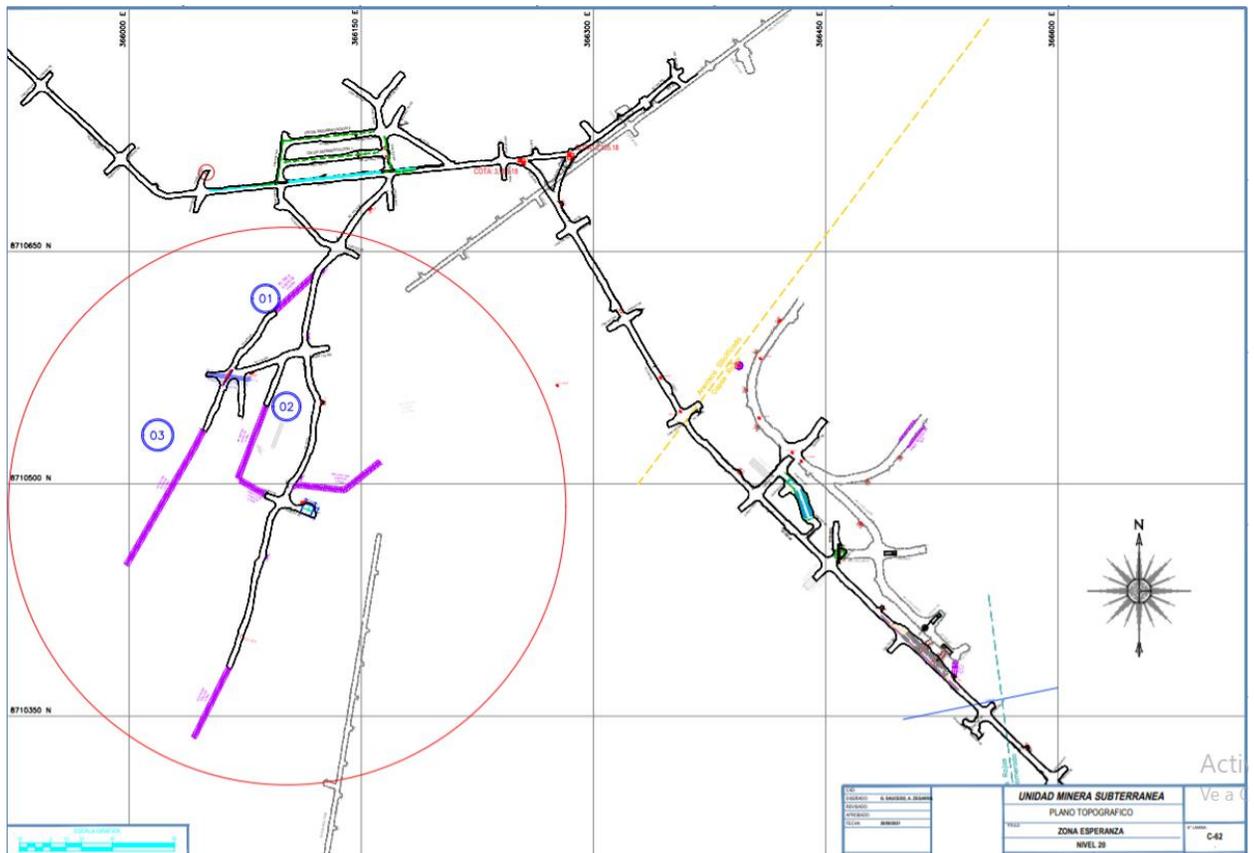
### Anexo 1: Plano topográfico del nivel 19 N zona Oroya



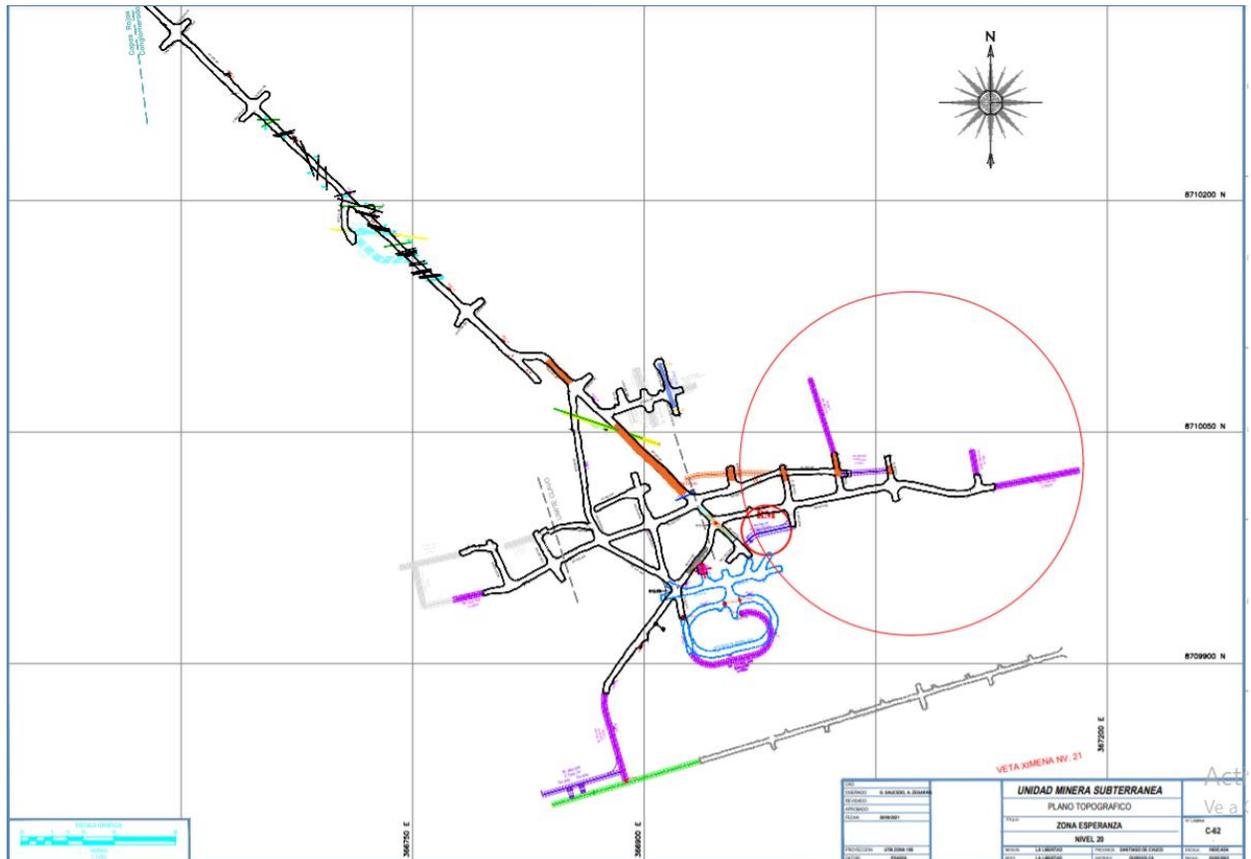
Anexo 2: Plano topográfico del nivel 19 S zona Oroya



**Anexo 3: Plano topográfico del nivel 20 N zona Esperanza**



**Anexo 4:** Plano topográfico del nivel 20 S zona Esperanza



**Anexo 5** Valor máximo de velocidad de partícula según propuesta del U.S. Bureau of Mines en 1980

Tipo de estructura	Baja Frecuencia	Alta Frecuencia
Casas modernas con paredes revestidas de material diferente del revoque común (yeso, etc.)	19 mm/s	50 mm/s
Casas antiguas, con paredes revocadas	12,5 mm/s	50 mm/s

Baja frecuencia: < 40 Hz, todo pico espectral que se produzca por debajo de 40 Hz y dentro de una faja de 6 dB (o sea, 5% de la amplitud verificada a la frecuencia predominante) justifica el empleo del criterio de baja frecuencia.

Alta frecuencia: > 40 Hz

**Anexo 6:** *Tabla Rango de efectos en estructuras según los niveles de vibraciones*

12.7 mm/s (0.5in/s)	Bureau of Mines recommended guideline for plaster-on-lath construction near surface mines (long term, large scale, low frequency vibrations) (RI 8507)
19.1mm/s (0.75in/s)	Bureau of Mines recommended guideline for sheetrock construction near surface mines (RI 8507)
25.4 mm/s (1.0in/s)	OSM regulatory limits for residences near surface mine operations at distances 92-1524 meters (301-5000 feet)
50.8 mm/s (2.0 in/s)	Widely accepted limit for residences near construction and quarry blasting (BuMin 656, RI 8507)
137mm/s (5.4 in/s)	Minor damage to the average house subjected to quarry blasting vibrations (BuMin 656)
229 mm/s (9 in/s)	About 90% probability of minor damage from construction or quarry blasting. Structural damage to some houses depending on vibration source and character of the vibrations.
501 mm/s (20 in/s)	For close-in construction blasting, minor damage to nearly all houses and structural damages to some. For low-frequencies, major damage to most houses.

**Anexo 7: Tabla Valoración RMR en un análisis Geomecánico**

Valoración RMR		100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	Menor a 20
Clasificación N°		I	II	III	IV	V
Descripción		Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca mala	Roca muy mala
Tiempo medio de sostén		10 años para claro de 5m.	6 meses para claro de 4m.	1 semana para claro de 3m.	5 horas para claro de 15 m.	10 minutos para claro de 0.5 m
Parámetros geomecánicos	Cohesión	30 ton/m <sup>2</sup>	20 a 30 ton/m <sup>2</sup>	15 a 20 ton/m <sup>2</sup>	10 a 15 ton/m <sup>2</sup>	Menor a 10 ton/m <sup>2</sup>
Recomendados	Ang. Fricción	Mayor a 45°	40° a 45°	35° a 40°	30° a 35°	Menor a 30°

## Anexo 8: Ficha técnica encartuchado Semexsa del fabricante Exsa

### SEMEXSA®

Dinamita semigelatinosa muy versátil por sus características de detonación que pueden variar según las circunstancias, desde un alto efecto empujador hasta un alto poder rompedor, lo que permite su empleo en voladura de rocas intermedias a duras.

El nivel de energía de los diversos tipos de Semexsa permite superar la fuerza estructural y masa de las diferentes calidades de roca.

Gracias a su gran rendimiento, adaptabilidad y seguro manipuleo, son usadas en minería subterránea, canteras, obras civiles (túneles, carreteras) generando también un excelente comportamiento en labores confinadas como rampas, chimeneas, piques y entre otros.

Por último, su adecuada transferencia de energía liberada a la roca, minimiza los daños alrededor del taladro.

#### Propiedades / Beneficios

- Alta a mediana velocidad de detonación.
- Mediana impedancia.
- Sensible al detonador No. 8 y al cordón de bajo gramaje.
- Larga vida útil.

#### Características técnicas

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

\* Sin confinar en tubo de hoyalato de 30 mm de diámetro.

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

#### Presentación y embalaje

Masa explosiva encartuchada en papel kraft, los cartuchos son dispuestos en bolsas plásticas y embaladas en cajas de cartón corrugado.

Peso Neto	25 kg			
Peso Bruto	26.3 kg			
Dimensiones de caja	Ext. 35 x 45 x 28 cm			
Material	Caja de cartón corrugado			
Producto	Pulg.	UN/Caja	Masa g/UN	
SEMEXSA 45	1 1/8	12	122	205
SEMEXSA 65	1 1/2	12	68	368
SEMEXSA 65	7/8	7	308	81
SEMEXSA 80	1 1/8	8	164	152

Para otros formatos de cartuchos preguntar a un especialista EXSA.

En las cantidades mencionadas podrá haber variaciones en el número y peso de los cartuchos para mantener el estándar de 25 kg/caja.



#### Almacenamiento y garantía

Conservado en su embalaje original y almacenado en condiciones de temperatura y humedad normales, conforme a las normativas vigentes, el producto está garantizado por 18 meses, después de su fecha de fabricación.

#### Transporte

CLASE: 1  
DIVISIÓN: 1.1 D  
N° ONU: 0081



## Anexo 9: Ficha técnica Anfo Examon-P del fabricante Exsa

### EXAMON - P

Agente de voladura granulado para uso en voladuras superficiales y en subterráneas con buena ventilación. Permite ser empleado como carga de columna en terreno intermedio a duro.

Preparado especialmente con una mezcla balanceada en oxígeno de nitrato de amonio y petróleo. Dichos componentes le confieren un alto valor energético, seguridad, facilidad de manipuleo y bajo costo, para ser usado en minería subterránea (tajeos y desarrollos) y en superficie (carreteras, túneles, excavación de canales y obras civiles en general).

La exacta dosificación y perfecta homogeneidad de la mezcla de sus componentes garantizan un balance de oxígeno constante, que sumada a su textura, permiten que el producto se confine adecuadamente en el taladro, incluso sobre cabeza en positivo.

#### Propiedades / Beneficios

- Alta velocidad de detonación, varía con el diámetro del taladro.
- Su empleo presenta ventajas económicas y operativas por su facilidad de carguío manual o neumático con un alto margen de seguridad.
- Puede ser usado como carga de columna en tajo abierto, subterránea, canteras y trabajos de voladura en general.

#### Características técnicas

Especificaciones técnicas	Unidades	Examon - P
Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	0.72 – 0.82
Densidad Compacta	g/cm <sup>3</sup>	0.82 ± 3%
Velocidad de detonación*	m/s	3,400 ± 400
Presión de detonación	kbar	21
Energía**	KJ/kg	3,899
RWS**	%	104
RBS**	%	106
Resistencia al agua		Nula
Volumen de gases**	l/kg	1,056.5
Categoría de gases	Categoría	2da
Color		Anaranjado

\*Confinado en tubo de acero de 1½ pulgada de diámetro (Schedule 40)

\*\* Calculada con programa de simulación TERMODET a condiciones ideales de 1 atm

#### Presentación y embalaje

Masa explosiva de 25 kg dispuesta en saco de polipropileno.  
Para otros formatos de cartuchos preguntar a un especialista EXSA.



www.EXSA.net

#### Almacenamiento y garantía

Conservado en su embalaje original y almacenado en condiciones de temperatura y humedad normales, conforme a las normativas vigentes, el producto está garantizado por 6 meses, después de su fecha de fabricación.

**Transporte**  
CLASE: 1  
DIVISIÓN: 1.5 D  
N° ONU: 0331



**Anexo 10:** *Explosivos de voladura, equipos y herramientas de perforación.*



**Anexo 11:** *Perforación del frente GL 820 NE nivel 19 usando una Jack leg YT29*



**Anexo 12:** *Material Post-Voladura*

