

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

EVALUACIÓN TÉCNICA DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS DE
UNA MINA SUBTERRÁNEA EN CAJAMARCA – 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Ramírez Malca Wan Seyni
Sandoval Rivera Juan Roberto

Asesor:

Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Cajamarca - Perú

2020



DEDICATORIA

A Dios por permitirme lograr mis objetivos, a mis padres Melaneo Ramírez y María Malca por su invaluable y perseverante apoyo y estar siempre pendiente de mí, velando por mi bienestar y salud, e inculcándome valores. A toda mi familia y amigos, por estar siempre apoyándome.

Wan Ramírez

A mi madre Zoila Rivera, a mi hermano Michael Sandoval y a mi abuela Petronila Fuentes por ser mi fuente de inspiración para salir adelante, por su apoyo incondicional hacia a mi persona, por su amor infinito y sobre todo por hacer de mí una persona de bien.

Roberto Sandoval

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida, a mi familia por todo su apoyo incondicional, a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte por brindarme los conocimientos necesarios para mi desarrollo profesional. A PRONABEC que a través del programa Beca 18, me brindó la oportunidad de ingresar a una universidad prestigiosa y lograr alcanzar una de mis metas trazadas en mi vida.

Wan Ramírez

A Dios por todas las bendiciones que me ha regalado a lo largo de mi vida. En segundo lugar, agradecer a mi madre y abuela por los consejos que han hecho que fortalezca mis valores, por su amor incondicional y velar por mí siempre. En tercer lugar, agradecer a PRONABEC que por medio de su sistema de becas me han permitido conseguir una de mis metas planteadas.

Roberto Sandoval

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. <i>Realidad problemática</i>	10
1.2. <i>Formulación del problema.....</i>	23
1.3. <i>Objetivos</i>	23
1.3.1. <i>Objetivo general.....</i>	23
1.3.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	23
1.4. <i>Hipótesis.....</i>	24
1.4.1. <i>Hipótesis general.....</i>	24
1.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. <i>Tipo de investigación</i>	25
2.2. <i>Población y muestra</i>	25
2.2.1. <i>Población</i>	25
2.2.2. <i>Muestra.....</i>	25
2.3. <i>Materiales, instrumentos y equipos.....</i>	26
2.3.1. <i>Herramientas técnicas</i>	26
2.3.2. <i>Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....</i>	27
2.3.3. <i>Procedimiento de recolección de datos.....</i>	27
2.3.4. <i>Análisis de datos.....</i>	28
2.3.5. <i>Procedimientos de análisis de datos</i>	28
CAPÍTULO III. RESULTADOS	29
3.1. <i>Situación actual de perforación y voladura</i>	29
3.1.1. <i>Deficiencias actuales de la voladura en la contrata JA</i>	29
3.1.2. <i>Deficiencias de la voladura en la galería con la malla empírica.....</i>	30
3.1.3. <i>Costos de perforación con la malla empírica</i>	31
3.1.4. <i>Costos de la voladura con la malla empírica.....</i>	38
3.2. <i>Diseño de la nueva malla de perforación propuesta para la galería con el apoyo de los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse.</i>	45
3.2.1. <i>Resultados de perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación.</i>	66
3.3. <i>Cálculo de los costos de perforación y voladura con los resultados de la nueva malla propuesta.</i>	74
3.3.1. <i>Costos de perforación con la malla propuesta</i>	74
3.3.2. <i>Costos de voladura con la malla propuesta</i>	82
3.3.3. <i>Costo total de perforación por disparo y metro lineal avanzado.</i>	88
3.4. <i>Determinación de la reducción de costos operativos de perforación y voladura.</i>	90
3.4.1. <i>Análisis de los costos totales de perforación y voladura a largo plazo</i>	92

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	95
4.1. <i>Discusión</i>	95
4.2. <i>Conclusiones</i>	97
REFERENCIAS	99
ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Deficiencias observadas en la contrata JA.	29
Tabla 2 Fechas en las que se realizó la recolección de datos en la Galería.....	30
Tabla 3 Distribución de los taladros y burden en la malla empírica.	32
Tabla 4 Parámetros para calcular el costo de aire comprimido.....	33
Tabla 5 Parámetros para calcular el costo del desgaste del barreno de perforación	34
Tabla 6 Parámetros para calcular el costo del desgaste de la Máquina perforadora con la malla empírica.....	35
Tabla 7 Parámetros para el cálculo del costo del consumo de broca.....	36
Tabla 8 Resumen de costos en perforación con la malla empírica.	37
Tabla 9 Costo de los materiales especiales empleados en la voladura, perteneciente al día 29 de octubre del 2019.....	38
Tabla 10 Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 17 de noviembre del 2019.	38
Tabla 11 Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 27 de noviembre del 2019	39
Tabla 12 Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 08 de enero del 2020.....	39
Tabla 13 Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 20 de enero del 2020.....	39
Tabla 14 Resumen de costos en voladura con la malla empírica.....	40
Tabla 15 Cuadro resumen de consumo de explosivo en malla empírica por disparo (Kg/disparo).....	41
Tabla 16 Eficiencia de la voladura en campo.	42
Tabla 17 Volumen removido y avance por disparo con la malla empírica.	42
Tabla 18 Resultados de perforación y voladura con la malla empírica.....	44
Tabla 19 Resumen de los costos de perforación y voladura con la malla empírica.	44
Tabla 20 Variables a considerar en el diseño de la nueva malla de perforación.	45
Tabla 21 Especificaciones técnicas del explosivo Semexsa 65%.....	46
Tabla 22 Especificaciones técnicas del ANFO y Nitrato de Amonio	46
Tabla 23 Resultados de la nueva malla de perforación.....	66
Tabla 24 Resultados de la malla de perforación con algunas modificaciones para dibujar en campo.	70
Tabla 25 Parámetros para calcular el costo de aire comprimido con la malla propuesta.....	74
Tabla 26 Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla empírica vs malla propuesta.....	75
Tabla 27 Parámetros para el cálculo del costo del desgaste del barreno de perforación con malla propuesta.....	76
Tabla 28 Comparación de costos de desgaste de barreno con malla empírica Vs malla propuesta.....	77
Tabla 29 Parámetros para calcular el costo del desgaste de máquina perforadora con la malla propuesta.....	78

Tabla 30 Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla empírica vs malla propuesta.....	79
Tabla 31 Parámetros para calcular el costo de consumo de la broca con malla propuesta.....	80
Tabla 32 Comparación de costos por consumo de brocas con malla empírica vs malla propuesta.....	81
Tabla 33 Resumen de costos de perforación con la malla propuesta.	81
Tabla 34 Distribución del consumo de explosivo con la nueva malla de perforación propuesta.....	82
Tabla 35 Costo de la voladura con la nueva malla de perforación propuesta	83
Tabla 36 Eficiencia de la voladura de campo con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura.....	83
Tabla 37 Tabla de volumen removido por disparo con la nueva malla propuesta de perforación y voladura.....	83
Tabla 38 Resultados de la perforación y voladura con malla propuesta.....	85
Tabla 39 Costos de perforación y voladura con la nueva malla propuesta.....	85
Tabla 40 Tabla de comparación de carga explosiva y numero de taladros de la malla empírica vs malla propuesta	86
Tabla 41 Resumen de costos en voladura (\$/disparo y \$/m) de malla empírica vs malla propuesta.....	87
Tabla 42 Resumen del costo de la perforación (\$/disparo y \$/m) de malla empírica vs malla propuesta.....	88
Tabla 43 Costo total de perforación y voladura por disparo (\$/disparo).....	90
Tabla 44 Costo total de perforación y voladura por metro lineal de avance (\$/m).....	91
Tabla 45 Flujo del ahorro de costos con respecto a la perforación y voladura.	92
Tabla 46 Resumen de ahorro proyectado	92
Tabla 47 Matriz de consistencia	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Malla empírica empleada en la perforación y voladura para la galería de la contrata JA, presenta 44 taladros para la carga de explosivo con 2 taladros de alivio. Ver anexo 6.	31
Figura 2 Diámetro de taladros de alivio	48
Figura 3 Diseño del arranque: Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Área taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m.	48
Figura 4 Diseño del arranque (Primer cuadrante), Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m. elaboración propia.	52
Figura 5 Diseño del Segundo cuadrante: Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m	54
Figura 6 Diseño del tercer cuadrante: Círculo línea azul. Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m. Elaboración propia.	56
Figura 7 Diseño de tiros de zapatera Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m	59
Figura 8 Diseño de tiros de Caja: Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m.	61
Figura 9 Diseño de tiros de Corona: Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m.	63
Figura 10 Diseño de tiros auxiliares de Corona: Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m.	65
Figura 11 estructura y distribución de los 37 taladros en la nueva malla de perforación. Las distancias que se muestran en esta imagen, son las distancias calculadas sin corrección.	67
Figura 12 En la imagen se puede ver plasmados las medidas calculadas en el diseño de la malla de perforación sin ninguna modificación.	68
Figura 13 Velocidad pico de las partículas de la malla que no tiene ninguna modificación de los parámetros de perforación y voladura, analizada a 500 m.	69
Figura 14 Distribución de la energía en la malla sin ninguna modificación de los parámetros de perforación y voladura.....	69
Figura 15 Malla de perforación con las medidas compensadas para un trazo más realista en campo, ya que nos adecuaremos a la realidad diferente a los cálculos de gabinete.....	71
Figura 16 Velocidad pico de las partículas de la malla que se modificaron algunos parámetros de perforación y voladura, analizada a 500 m.	72
Figura 17 Distribución de la energía en la malla que se modificaron algunos parámetros de perforación y voladura.....	72

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Diseño de la metodología.....	25
Gráfico 2 Distribución mensual de las deficiencias observadas en la voladura de los frentes de trabajo de la contrata JA.....	30
Gráfico 3 En la imagen se ve la distribución de taladros entre las dos mallas de perforación y nos permite apreciar que hay una disminución de taladros en un 20 %.....	73
Gráfico 4 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de aire comprimido, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 23.624 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.....	75
Gráfico 5 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de barrenos de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 0.703 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.....	77
Gráfico 6 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de máquina de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 1.358 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.....	79
Gráfico 7 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de máquina de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 8.363 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.....	81
Gráfico 8 En la imagen se puede apreciar que hay una variación en el requerimiento de carga explosiva por disparo entre ambas mallas, la diferencia es de 3.639 Kg/disparo, la cual en términos estadísticos significa que hay una reducción de 17%.....	86
Gráfico 9 en este grafico se puede observar la variación del costo de la voladura por disparo, teniendo una diferencia de 13.786 \$/disparo, en términos estadísticos representa una reducción del el 21%.....	87
Gráfico 10 En este grafico se puede observar la variación del costo de la voladura por metro lineal avanzado en la malla empírica es 1m y en la malla propuesta de 1.156 m, teniendo una diferencia de 20.827 \$/metro, en términos estadísticos representa una reducción del el 32%.....	88
Gráfico 11 El costo de perforación por disparo se reduce en 21.497 \$/disparo y en términos estadísticos se redujo un 20 %.....	89
Gráfico 12 El costo de perforación por metro lineal de avance se reduce 34.049 \$/m y en términos estadísticos se redujo un 31%.....	89
Gráfico 13 El costo total de perforación y voladura se ha reducido en 35.28 \$/disparo y estadísticamente la reducción es de 20%.....	90
Gráfico 14 El costo total de perforación y voladura por metro de avance se redujo 54.876 \$/m, y en términos estadísticos se reduce un 31%.....	91
Gráfico 15 En el gráfico se puede apreciar las variaciones entre los gastos en un periodo de 18 meses, estos costos incluyen los costos en perforación y voladura. Para esta proyección se ha promediado el número de disparos al mes, la contrata realiza 5 disparos al mes.....	93
Gráfico 16 En la imagen se puede apreciar el ahorro a largo plazo que la contrata JA puede alcanzar al aplicar nuestra propuesta de malla. Para lo cual se consideró el mismo precio de los insumos y un cambio de US\$ 3.344.....	94

RESUMEN

La presente tesis de investigación tiene como objetivo principal evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca – 2020, es de tipo cuantitativa y con propósito aplicativo porque realizaremos una investigación para optimizar la perforación y voladura y así reducir los costos de estas actividades unitarias. Para ello, se diseñó una nueva malla de perforación utilizando modelos matemáticos como son Holmberg y Pearse. En la etapa de pre campo se realizó una búsqueda documentaria relacionados con el tema utilizando buscadores científicos confiables como Goggle Scholar, Repositorios de Universidades y Renati, en la etapa de campo se observó las deficiencias de estas actividades. La tesis concluye que al realizar una evaluación técnica de estas actividades se determinó el número de taladros óptimos para la galería reduciendo de 46 a 37, como también la carga explosiva se reduce de 21.58 kg/disparo a 17.95 kg/disparo, por ende reduciendo los costos de perforación y voladura de 175.83 \$/disparo a 140.55\$/disparo, la reducción de estos costos es de 20% , con la nueva malla propuesta se mejora la perforación y voladura teniendo mejores eficiencias.

Palabras clave: Optimización, costos, perforación, voladura, modelos matemáticos, Holmberg, Pearse

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Actualmente la contrata Julio Anticono (más adelante llamada como JA) se encuentra trabajando en la empresa minera Nueva Esperanza, donde despliega labores en la etapa de desarrollo de dicha mina. Nueva Esperanza se encuentra ubicada en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, la mina se encuentra bajo el régimen artesanal, siendo esta subterránea y se desarrolla bajo el método de explotación de corte y relleno ascendente. Dicha contrata desarrolla las siguientes labores: 4 chimeneas, 2 sub niveles, 1 galería, 1 rampa y 1 cortada.

Su trabajo ha presentado deficiencias en el área de perforación y voladura, los cuales han conllevado a generar altos costos, además, se han observado fallas durante los meses de octubre, noviembre y enero en diferentes frentes de la contrata, siendo estos cuantificados como: 34 tiros cortados, 11 anillados y 20 tiros soplados, 37 desquinches y tacos; estas deficiencias elevan los costos operativos de las actividades unitarias.

La perforación y voladura es una de las actividades operacionales más importantes durante el desarrollo de una mina; en la actualidad existen una gran variedad de modelos matemáticos formulados para la ejecución de esta, sin embargo, existen muchas fallas en la perforación y voladura que traen consigo cuantiosas pérdidas económicas para la unidad minera.

La mediana y la gran minería se han provisto de una serie de herramientas, tecnologías y métodos de perforación para minimizar estas fallas en dichas labores, y con ello evitar pérdidas económicas y altos costos.

Por otro lado, la pequeña y minería artesanal no cuentan con los medios necesarios para poder hacer un óptimo diseño de mallas de perforación para su voladura, una adecuada

distribución de taladros, cálculo de cargas explosivas y sobre todo inestabilidad del macizo rocoso que conllevan a la generación de gastos y costos altos e innecesarios. (Chávez, 2018).

Zúñiga (2015), en su tesis de grado titulada "Diseño de tronaduras y su impacto en el costo de mina de la compañía Minera Cerro Negro" Universidad de Chile. Tiene como resultados un factor de carga de 286 g/t para un diámetro de 4", se logró disminuir el sobre tamaño de 10%. En valores económicos, esto significa que se disminuyó 2 US\$/ t Mineral del costo global de perforación y voladura, por otro lado, tuvo un impacto de 3.8% en la reducción de costo mina. Por lo tanto, esta tesis nos muestra que una buena distribución de carga en el diseño de la malla de tronadura tiene grandes impactos en los costos de una mina.

Villacrés (2016), en su tesis "Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la Empresa PRODUMIN S.A." tuvo como objetivo optimizar los costos al sistema de explotación subterránea por el método de corte y relleno ascendente selectivo en forma convencional en la Unidad Minera PRODUMIN S.A. en la veta Kathy. Tiene como resultado la optimización del método en un 19% lo que equivale a 88 US\$/Ton y además los costos de perforación y voladura se redujeron en 17% con las nuevas mallas.

Cayllahua (2018), en su tesis "Evaluación de costos operativos en galerías de exploración para optimizar la perforación y voladura en la unidad minera las Águilas – CIEMSA" tuvo como objetivo reducir los costos operativos de perforación y voladura, la metodología utilizado fue recojo de información de parte de la empresa. Los resultados de la nueva malla de perforación reducen en 4 taladros (de 32 a 28 taladros), optimizando los costos de perforación y voladura de 125.7 a 111.6 \$/m, con ello reduciendo sus

costos operativos en 14.10 \$/m, como también se reduce el factor de carga de acuerdo al GSI y RQD, logrando disminuir los costos en material explosivo y accesorios de 34.9 \$/m a 31.1 \$/m.

Carrasco (2015), en su tesis, "Aplicación del método Holmberg para optimizar la malla de perforación y voladura en la unidad Parcoy – CIA. Consorcio Minero Horizonte S.A.". Concluye que la aplicación del método Holmberg garantiza la mejora del diseño de la malla de perforación y voladura, minimizando las fallas como tiros taqueados y sopladados en la voladura. Además, asegura una eficiencia del 92% de esta y con un avance de 3.6 m promedio por disparo; también se pudo controlar y reducir la sobre excavación en un 7.92% por disparo lo que equivale a 9.6 Tn rotas en promedio por disparo. La nueva carga explosiva es de 1.73 kg explosivo/ m^3 lo que afianza una buena voladura.

Barrios (2019), en su trabajo de suficiencia profesional "Optimización del diseño de mallas de perforación y voladura de frentes aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg", tiene como hipótesis general la factibilidad de aplicación e implementación del modelo matemático de Holmberg a la perforación y voladura para la optimización de los costos, tiempos y rendimientos de las operaciones unitarias en la empresa CIMAFEJ S.A.C. Además, nos dice que es factible su aplicación ya que se logró reducir el costo total de 225.06 US\$/m a 197.47 US\$/m, también se mejoró la eficiencia de la voladura en 93% disminuyendo consigo el porcentaje de sobre rotura.

La empresa minera Esperanza se encuentra en algunos casos labores de producción y avance, como es el caso de la Galería donde la contrata JA viene realizando trabajo de avance en dicha labor. El método de explotación elegido para esta mina, es el método de corte y relleno ascendente.

Una buena caracterización geomecánica, además, de un buen modelamiento de la geometría del yacimiento para un buen análisis económico y geoestadístico del mismo, el dimensionamiento de los equipos a usar en mina es otro de los factores a analizar.

Para elegir el método de extracción, se deben analizar una serie de factores que están relacionados directamente al cuerpo mineralizado, como son. Análisis del cuerpo mineralizado, factibilidad económica, estabilidad física del túnel o elegir un sostenimiento óptimo y eficiente, además debe asegurar el tránsito de aire ya sea por medios mecánicos o naturales. (Vidal & Correa, 2017).

Para poder realizar este método, el yacimiento debe de cumplir con condiciones de buzamientos mayores a 55° , la mineralización se debe dar en vetas, la roca caja debe estar compuesta por roca medianamente competente a competente, el mineral debe tener buena ley y sobre todo que exista disponibilidad de material detrítico para el relleno de los subniveles.

El método de corte y relleno ascendente, se desarrolla de manera horizontal y por tajadas que parte de abajo hacia arriba. Todo el material roto se extrae directamente desde el tajo. Una vez extraído todo el material con valor económico de la tajada, se procede a rellenar esta con material exógeno el cual cumple la función de sostener las paredes de la nueva labor y ser el nuevo piso de trabajo.

La calidad de la perforación y voladura, no solo se debe de medir en cuanto a la calidad de la carga explosiva o perforación de taladros, sino que se encuentra estrechamente relacionada a una buena caracterización y estudio previo del macizo rocoso, con el objetivo de hacer un estudio general sobre las condiciones en las que se encuentra el terreno donde ejecutaremos el proyecto. Saavedra (2019).

Chipana (2018), menciona que la perforación es la penetración de la roca o macizo rocoso a través de un orificio o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos. La finalidad con la que se perforan estos es para introducir explosivos en los mismos, lograr la apertura del túnel, galería o pozo para extraer un determinado mineral con tamaño y forma que se deseen. Mientras que por otro lado la voladura tiene como objetivo aflojar y fragmentar grandes masas de rocas o macizos rocosos a través de energía química, hidráulicas, etc.

Vidal y Correa (2017) nos dice que la perforación de macizos rocosos dentro de la voladura, es la operación con la que se inicia, que tiene por objetivo abrir huecos con una buena distribución y geometría adecuada para acoger en ellos a la carga explosiva y los accesorios de esta.

La perforación se puede dar de varias formas, una de ellas es la perforación por percusión cuyo componente principal es el pistón, "el cual empujando hacia adelante golpea la culata de la barra, de modo que la energía cinética del pistón se transmite desde el martillo hasta el elemento de corte a través del varillaje, en forma de onda de choque." (Chipana, 2017, p20). Por otro lado, la perforación por rotación, se da por el empuje axial y torque. La energía es transmitida a la broca por el tubo de perforación que gira y empuja la broca. Si combinamos las anteriores, obtenemos una perforación por rotopercusión, el cual se basa en el impacto del pistón que golpea la barra para transmitir la energía al fondo del barreno a través de la broca.

Por otro lado, Jáuregui (como se citó en Otrilla y Romero, 2018) indica que, los problemas que se pueden presentar en el avance (metros de avance y en las toneladas rotas obtenidas por disparo) pueden ser debido a las fallas en el control del diseño de malla de perforación (delineado y marcado de los puntos de perforación, espaciamiento

y del burden establecido), control del modo de perforación (paralelismo de taladros), control de la carga explosiva y además de una inadecuada secuencia de salida explosiva.

Calderón (2015), indica que la calidad de los taladros es un factor importante para la voladura, para ello se debe cumplir con cuatro condiciones: diámetro ligado al tipo de aplicación en que el taladro será usado; además, nos indica que un diámetro menor es más factible, adecuado y económicamente más rentable. La longitud, interviene para la selección del equipo perforador y sobre todo en el avance de disparo. El tipo de roca, método de perforación y características del equipo perforador va a determinar la rectitud y el paralelismo entre taladros para la interacción de cargas explosivas. Por último, necesitamos de la estabilidad del macizo rocoso en relación con los taladros perforados para evitar costos en revestimiento de taladros.

Dentro de los errores más comunes en la perforación se tiene: hueco de alivio con un diámetro muy pequeño afectando de esta manera el arranque de disparo; desviaciones en el paralelismo, con daños en el techo de túneles y galerías por sobre excavación; espaciamientos irregulares entre taladros, provocan granulometría gruesa en la fragmentación de la roca y sobre todo soplo del explosivo; longitud irregular de taladros, ocasionando un avance menor a lo proyectado y una nueva cara demasiado irregular. Además, la intersección de taladros afecta directamente a la carga explosiva y el rompimiento de la roca en todo el túnel. (Calderón, 2015, p46)

Una voladura de túneles y galerías se crea a partir de una cara libre o de otra voladura principal. La voladura dentro de una mina subterránea tiene un esquema reducido debido a la dificultad de salida de esta y a la granulometría en la rotura del macizo rocoso, ya que, esta debe ir acorde con los equipos de carga a emplearse en interior mina. Además,

una buena voladura es considerada como buena si es que esta no genera grandes cantidades de gases tóxicos por efecto del humo durante la explosión. (Cayllahua, 2018)

La voladura como actividad unitaria es de gran importancia, debido a que si se hace una buena voladura podemos reducir costos como actividad y reducir costos en otras actividades unitarias como en el carguío del material, molienda o inclusive evitar una voladura secundaria.

Para que una voladura sea efectiva, debe cumplir con las proyecciones de material movido o fracturado, no existan soplos, tiros anillados o cualquier otra deficiencia; esta debe analizar primero las condiciones en las que se realizará como analizar las propiedades físicas de dureza como tenacidad, densidad, textura, porosidad, grado de alteración; también propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas como frecuencia sísmica, resistencia mecánica y fricción interna; condiciones geológicas como estructura, grado de fisuramiento y presencia de agua. También ve las condiciones de carga dada por el diámetro del taladro, geometría de la carga, grado de acoplamiento, grado de confinamiento, distribución del taladro e intervalos de iniciación de las cargas. (Chipana, 2017)

Para la mejora continua en nuestra voladura, se debe de realizar una serie de pasos. Dentro de los cuales tenemos: evaluación del área de trabajo, diseño de voladura, preparación del banco, marcación del banco, perforación de taladros, evaluación de la perforación, carga de taladros, chequeo del carguío, evaluación de la voladura, evaluación de rendimiento y ajuste del diseño. (Flores, 2010, p9).

Pernía, López, Ortiz y López (como se citó en Otrilla, 2018) nos dicen que el usar explosivo en una mina, este debe cumplir con el objetivo de fragmentar la roca de modo eficiente. Sin embargo, para que esto suceda el explosivo debe de disponer de una buena

energía concentrada químicamente, distribuida adecuadamente en los taladros, liberar su energía de forma controlada tanto en tiempo como en espacio.

Otrilla (2018), nos dice que un buen explosivo debe de cumplir con las siguientes características: potencia explosiva para fragmentar la roca a través de la liberación de su energía en la detonación; poder rompedor, EXSA (2014) nos comenta que no es más que el efecto demoledor o triturador aplicado sobre la roca para iniciar la fragmentación de la misma; velocidad de detonación es la rapidez o retardo con la que la onda de detonación se propaga, la cual se puede ver afectada por la densidad de la carga, diámetro de taladro, confinamiento, iniciación y el envejecimiento del explosivo, densidad del encartuchado es la relación de la masa y el volumen de este; esta determina la concentración de carga en un barreno, ya que, a mayor densidad existirá mayor carga explosiva en el diámetro de un barreno. También tenemos al diámetro crítico que no es más que el diámetro de una carga cilíndrica en la que la onda de detonación no se propaga o lo hace a una velocidad baja a la considerada, masa crítica o mínima cantidad de explosivo necesario para producir detonación, resistencia al agua hace que el explosivo no necesite de alguna cubierta especial y que mantenga sus propiedades tanto físicas como químicas inalterables, calidad de humos está relacionada a la generación de gases tóxicos como monóxido de carbono y bióxido de carbonos que son letales y perjudiciales para la salud del trabajador. Sensibilidad con la que un explosivo puede realizar una detonación no prevista y por último tenemos la estabilidad química de los explosivos durante el paso del tiempo ya que esta característica será importante para el almacenamiento y aprovechamiento progresivo de estos.

Cayllahua (2018), nos menciona que, la selección de un explosivo de estar basado en criterios como el precio de los explosivos ya que debemos elegir al explosivo que muestre un precio bajo pero que cumpla el trabajo para el cual está destinado; el diámetro

de carga está estrechamente relacionado a la velocidad de detonación, volumen de la roca a volar ya que este marca el ritmo de trabajo y el consumo de explosivo; condición de seguridad que se relaciona a la sensibilidad del explosivo.

Flores (2010), indica que, para obtener un rendimiento óptimo de los explosivos, estos deben de cumplir con una buena distribución de energía, un buen confinamiento de esta y una buena medición de la energía de los explosivos que vamos emplear en la voladura. Se basa en estos criterios puesto que la energía del explosivo es el factor más importante en esta actividad unitaria porque con ella vamos a obtener nuestros avances programados, la granulometría desea y sobre todo así evitar la sobre rotura, la cual conlleva a la inestabilidad de las paredes y techo de nuestro túnel.

El diseño de una malla de perforación está definido como: “un conjunto de taladros que se perforan en un frente y que su diseño debe tener una geometría, simetría, ubicación, dirección, inclinación y profundidad determinada.” (Cayllahua, 2018, p25)

Cayllahua (2018), menciona que el trazado de una malla de perforación debe cumplir con una ubicación y dirección exacta, inclinación y profundidad adecuada, ya que, estas características cumplirán con el objetivo de reducir gastos y cantidad del explosivo, garantizar un avance lineal óptimo, mantener una granulometría estándar y mantener la sección uniforme del túnel, por último, poder determinar la secuencia y orden de salida de los taladros.

Para Chávez (2018), menciona que “el diseño y marcado de malla de perforación, así como el uso de guías en las diferentes labores son el punto de inicio de una buena voladura por consecuencia tener un material cuya granulometría es la óptima.”

Chipana (como se citó en Otrilla y Romero, 2018) nos menciona que un buen diseño de malla de perforación y adicionalmente a ello, un buen cálculo de la carga explosiva nos

llevará a una reducción y optimización de costos en la ejecución de una labor. Para optimizar una operación minera, primero se debe mejorar las operaciones unitarias dándole mayor énfasis a la perforación y voladura, puesto que, ambas tienen mayor influencia en la rentabilidad y viabilidad de cualquier operación minera. (Palomino, 2016).

Como toda actividad desarrollada en una mina, el diseño de mallas de perforación tiene gran variedad de métodos que van desde los empíricos hasta los comprobados por estudiosos dedicados al campo de voladura subterránea, uno de ellos es Pearse Monsanto; él considera dentro de su modelo matemático los parámetros geométricos y geomecánicos, además de los parámetros y propiedades de los explosivos. Por otro lado, tenemos el modelo de Holmberg. Gaspar y Edinson (como se citó en Vidal y Correa, 2017) nos indican que este modelo matemático es una buena alternativa en el diseño de mallas de perforación; ya que, podemos optimizar la voladura subterránea porque no existe la necesidad de concebir demasiadas pruebas de campo. Este modelo es usado para calcular el burden; dentro de sus parámetros tenemos: diámetro del taladro, diámetro de alivio, longitud del taladro y carga, taco y desviación de perforación.

Para efectos de nuestra tesis, se tomó los estudios geomecánicos existentes como es la clasificación RMR que mide el comportamiento del macizo en cuanto a su resistencia uniaxial, fracturamiento en relación con el RQD, espaciado de las discontinuidades o planos de debilidad, además de la condición y orientación de estas y, por último, mide las condiciones hidrogeológicas. Tiene una variación de 0 a 100, para el caso de la galería en estudio se obtuvo una valoración de 77, siendo una roca de clase II de calidad buena.

Para el análisis del RQD, se cuentan el número de fisuras por metro lineal, número de fisuras por metro cúbico. Para la galería se obtuvo un RQD de 77.79 que es una calidad

buena de masa rocosa. Por último, el GSI a diferencia de las otras clasificaciones cuantitativas porque esta mide las características cualitativamente. El GSI compara dos parámetros; el primero tiene que ver con la condición superficial de la roca (estructura y composición) y la segunda nos hace referencia a las características de las discontinuidades. La galería de la contrata JA tuvo con resultado un GSI de 72 siendo una calidad de roca buena, el cual nos indica que nos encontramos con una superficie regular con fracturas y una calidad buena del macizo rocoso.

Garrido (2017) nos menciona que con un buen diseño malla de perforación, podemos empezar con la elección de nuestros explosivos; para ello debemos considerar el tipo de explosivo que vamos a emplear teniendo en cuenta el tipo de roca y sobre todo la presencia de agua subterránea, densidad del explosivo (mayor densidad, mayor potencia), transmisión de la onda de detonación, grado de sensibilidad a la iniciación, energía del explosivo y sobre todo los gases generados por los humos de CO en esta actividad unitaria. Adicionalmente, podemos considerar los precios de estos, diámetro de la carga y taladros, volumen de avance lineal y sobre todo que dichos insumos generen condiciones de seguridad para los trabajadores durante el desarrollo de sus labores.

Calderón (2018, p69) define los costos operativos como “aquellos generados en forma continua durante el funcionamiento de una operación minera y están directamente ligados a la producción, pudiéndose categorizarse en costos directos e indirectos.”

Para Chipana (2018), un costo es el esfuerzo económico que hace una empresa para obtener un bien o servicio que implican la obtención de materiales, producir un producto para su posterior venta al mercado y sobre todo obtener fondos, entre otros; si estos no satisfacen estas los objetivos son considerados como una pérdida o gasto. En otras palabras, “el costo se define como el valor sacrificado para adquirir bienes o servicio,

que se mide en pesos mediante la reducción de activos o al incurrir en pasivos en el momento en que se obtienen los beneficios.” (p66)

El identificar y determinar un costo tiene importancia en la toma de decisiones, evaluación de inventarios, ayudan en la identificación de deficiencias operacionales, también nos ayudan en el planeamiento de operaciones, control y gestión empresarial; además con ellos se pueden medir las utilidades de la empresa.

Los costos pueden ser medidos por su grado de variabilidad, este tipo de costos ayudan a las empresas en cuanto a estudios de planificación y control de operaciones porque se encuentran ligados a la variación de producción. Dentro de estos costos tenemos a los costos fijos, son los costos que permanecen constantes dentro de una producción relevante, por otro lado, el costo fijo por unidad depende de la variabilidad de la producción; en una mina un costo fijo se encuentra desligado del volumen de producción. Por otro lado, tenemos los costos variables que se encuentran estrechamente ligados a la cantidad de producción y a la venta de productos, mano de obra, adquisición de materia prima o materiales consumidos, suministros, depreciaciones de activos, etc. Los costos también pueden ser clasificados según su asignación; dentro de ellos tenemos a los costos directos que son relacionar a los a los productos y servicios realizados, estos costos son asignados directamente a la productividad y podemos referirnos a ellos como costos variables. Por último, tenemos a los costos indirectos que no están directamente establecidos a la actividad de producción o servicio, pero son necesarios para la producción y son distribuidos bajo algún criterio en las distintas áreas de producción; la mayor parte de estos costos son costos fijos. (Chipana, 2018)

Chipana (2018), considera que los costos también pueden ser clasificados según su comportamiento, dentro de los cuales tenemos a los costos variables unitarios que son

asignados derechamente a cada unidad de producto (materia prima o material); el costo variable total que es la multiplicación del costo unitario por el conjunto de productos fabricados o servicios vendidos para un determinado periodo. Por otro lado, tenemos al costo fijo total y unitario relacionados a la cantidad de fabricación o de servicios ofrecidos.

Ante la realidad de la Mina Esperanza, surgió la necesidad en la mejora y optimización de los parámetros de las actividades unitarias de perforación y voladura, en cuanto a una propuesta de malla de perforación, calculo real de la carga y distribución de explosivos, lo cual se desencadenará en una reducción optima en los costos de dichas actividades.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo mejorar las actividades unitarias de perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca - 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca – 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar la situación actual de la perforación y voladura en la galería de la contrata JA.

Diseñar una nueva malla de perforación con el apoyo de los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse para la galería de la contrata JA.

Evaluar los resultados de perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación para la galería de la contrata JA.

Determinar la reducción de costos operativos en la perforación y voladura en la galería de la contrata JA.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Es posible evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir los costos operativos no menor a 20% de una mina subterránea en Cajamarca – 2020.

1.4.2. Hipótesis específicas

Al analizar la situación actual de la perforación y voladura, se determinarán los costos operativos en la galería de la contrata JA.

Al diseñar una nueva malla de perforación y voladura de una mina subterránea en Cajamarca -2020, se optimizará el número de taladros en el frente de la galería de la contrata JA.

Al evaluar los resultados de perforación y voladura con la nueva malla de perforación en la galería de la contrata JA, se optimizará los costos operativos en estas actividades unitarias.

La reducción de costos operativos de perforación y voladura en la galería de la contrata JA, será menor del 20% con el nuevo diseño de la malla de perforación respecto al diseño anterior.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La actual investigación es de tipo cuantitativa, con propósito aplicativa y experimental, ya que, realizaremos una investigación para reducir los costos de la perforación y voladura en una mina subterránea de Cajamarca. Por lo cual, se realiza el siguiente diseño de la metodología, para realizar la presente investigación.

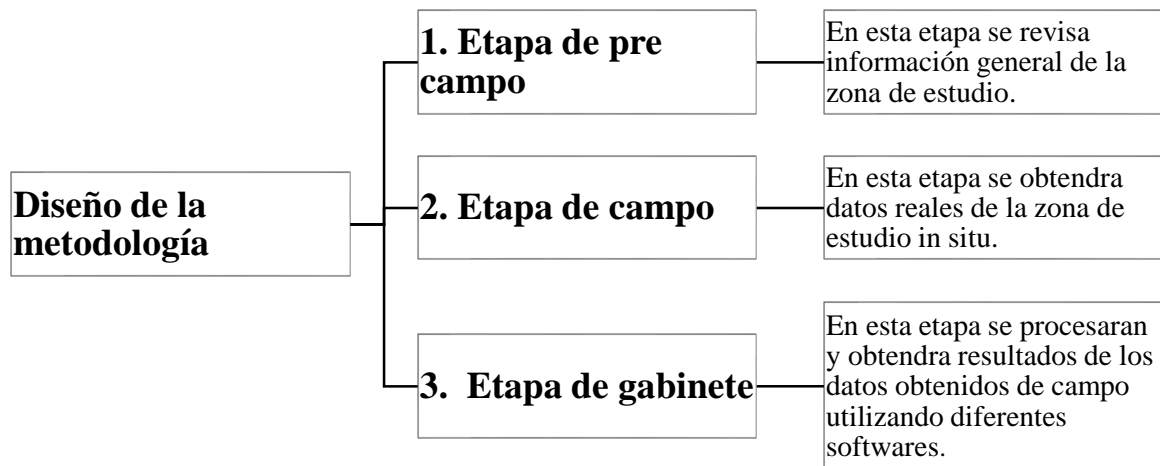


Gráfico 1 Diseño de la metodología

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

Labores de preparación de una mina subterránea en sub niveles, chimeneas, galería, piques, cortadas.

2.2.2. Muestra

Galería de la contrata JA.

2.3. Materiales, instrumentos y equipos

Dinamita (SEMEXA 65)

Nitrato de Amonio

Mecha lenta

Fulminante N°8

Broca 36 mm

Flexómetro

Pintura Spray

Cámara

Libreta de campo y tablero

Lapiceros

2.3.1. Herramientas técnicas

Microsoft Excel, es en el cual se almacenará y procesará los datos de campo, elaboración de tablas, cuadros y gráficos.

Microsoft Word, para la redacción de la presente tesis, siguiendo el modelo de redacción propuesto por la Universidad Privada del Norte - Cajamarca.

Autocad, donde se diseñará la malla de perforación y voladura con nuevos parámetros propuesto por el tesista.

Jksimblast, se realizará una simulación de la malla en el módulo 2D Face del programa y así ver la distribución de energía a lo largo de la malla.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Las técnicas para la recopilación de información y la metodología para ejecutar el presente proyecto son:

Fuentes primarias

Observaciones realizadas por parte de los investigadores en los diferentes frentes de trabajo: Libreta de campo, fotografías tomadas al momento de realizar las actividades.

Reporte diario de operación por guardia:

Cuaderno de reporte y formatos de control de material especial y material mina.

Número de taladros por frente

Cantidad de explosivo utilizado por frente

Tiempo de aire por frente

Número de brocas utilizadas por frente

Fuentes secundarias

Información recopilada de diferentes fuentes, como tesis, artículos científicos, revistas, papers, informes, libros y conferencias.

Información documentaria de la empresa.

2.3.3. Procedimiento de recolección de datos

En primer lugar, se observó que los perforistas no tenían un control adecuado al momento de realizar su malla de perforación y no tenían cuidado con la cantidad de explosivo que utilizaban por frente.

Así mismo; se observaron paredes con mucha sobre rotura en los contornos, lo que ocasiona inestabilidad del macizo rocoso.

Además, las deficiencias observadas, se registró en fotografías y libreta de campo, estas deficiencias se mejorarán haciendo un cambio en los parámetros de Perforación y Voladura, realizando un nuevo diseño de malla.

2.3.4. Análisis de datos

Para el análisis de optimización de las operaciones unitarias de perforación y voladura se consideraron los siguientes parámetros: burden, espaciamiento, carga de explosivo, entre otras que son utilizados y recomendados por diferentes autores, por lo cual, se analizara utilizando gráficos y tablas.

2.3.5. Procedimientos de análisis de datos

El análisis de datos fue de la siguiente manera:

- a) Se identificaron las deficiencias en Perforación y Voladura (tiros sopladados, tiros cortados y sobre carga explosiva), con la ayuda de bibliografía, se hicieron nuevos cálculos de los parámetros de estas actividades, para obtener una nueva malla de perforación con nuevos parámetros.
- b) Con los cálculos obtenidos, se diseñó una nueva malla de perforación, haciendo uso del programa AutoCad.
- c) Se realizó una simulación y validación de las mallas que son la primera sin modificar los parámetros de perforación y la segunda modificando algunos parámetros de burden y espaciamiento, para dibujar en campo ya que en la empresa no se cuenta con equipos de alta precisión.
- d) Finalmente se determinaron los costos y gastos de las actividades unitarias actuales para realizar un comparativo con los costos y gastos propuestos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Situación actual de perforación y voladura

3.1.1. Deficiencias actuales de la voladura en la contrata JA

Para determinar la situación actual se tuvo en consideración las deficiencias de la voladura de manera general en toda la contrata donde se registraron las siguientes deficiencias como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1

Deficiencias observadas en la contrata JA.

Mes/tipo	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Tiro soplado	5	4	6	5
Tiro cortado	10	8	7	9
Tiro anillado	2	1	3	5
Desquinche	7	10	9	11
Tacos	20	17	15	17

Al observar se presentan deficiencias en la voladura realizada en sub niveles, chimeneas, galería y rampa (ver anexo 5)

Dentro de las deficiencias que se pudo observar en la voladura durante un periodo de 4 meses en todos los frentes de trabajo de la contrata, fueron tiros cortados, soplados, anillados y muy frecuentemente tacos de 10, 15 y 20 cm.

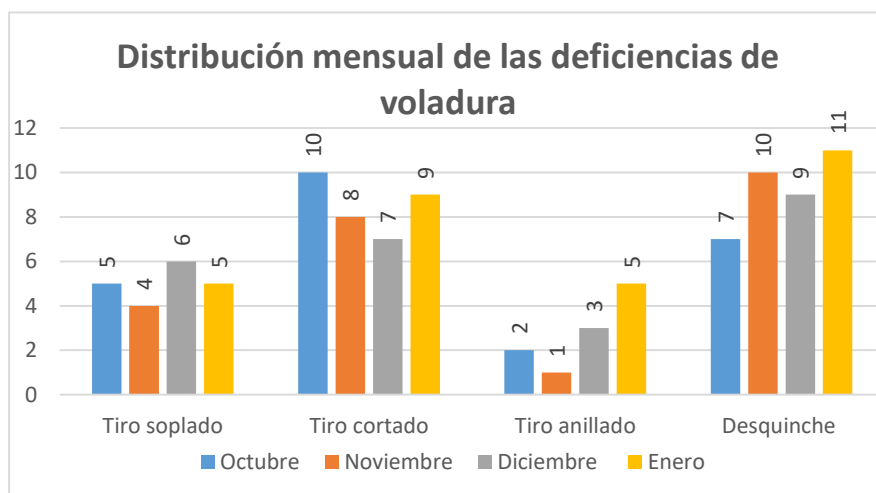


Gráfico 2 Distribución mensual de las deficiencias observadas en la voladura de los frentes de trabajo de la contrata JA.

3.1.2. Deficiencias de la voladura en la galería **con la malla empírica**

En el proceso de las actividades unitarias de perforación y voladura en la galería de la contrata JA, se ha podido identificar problemas relacionados al avance lineal que afecta directamente la eficiencia de dichas actividades. En la observación de campo se logró medir el avance para los 5 disparos en la galería. Las mediciones se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2

Fechas en las que se realizó la recolección de datos en la Galería.

LABOR	MEDICIÓN	RECOLECCIÓN DE DATOS
	1	29 de octubre del 2019
	2	17 de noviembre del 2019
GALERÍA	3	27 de noviembre del 2019
	4	08 de enero del 2020
	5	20 de enero del 2020

En la tabla se muestra la fecha y el orden en el que se hicieron las observaciones in situ, ver Anexo 3.

3.1.3. Costos de perforación con la malla empírica

La contrata JA ha desarrollado estas actividades unitarias de manera empírica, con observaciones en campo sin estudio y diseño previo. Los maestros perforistas han sido los encargados de hacer una malla in situ al igual que la distribución de taladros; la Malla que actualmente usan, es una malla con 46 taladros y el espaciamiento, burden de la malla no eran las correctos debido a que no se realizaron cálculos de estos, ya que se realizaban al criterio del maestro perforista, algunos con experiencia y otros sin experiencia, un aproximado de las medidas son:

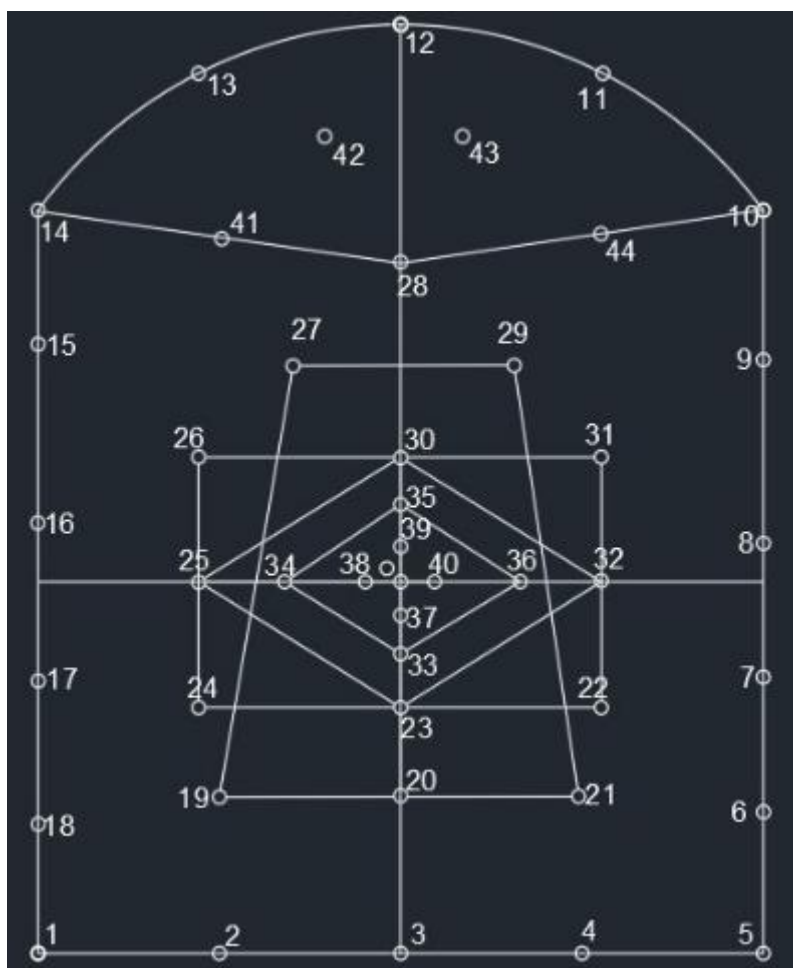


Figura 1 malla empírica empleada en la perforación y voladura para la galería de la contrata JA, presenta 44 taladros para la carga de explosivo con 2 taladros de alivio. Ver anexo 6.

Tabla 3

Distribución de los taladros y burden en la malla empírica.

DESCRIPCIÓN	BURDEN (m)	NÚMERO DE TALADROS
ARRANQUE	0.04 - 0.5	4
CUADRANTE 1	0.10 - 0.12	4
CUADRANTE 2	0.15 – 0.20	4
CUADRANTE 3	0.25 – 0.30	4
CUADRANTE 4	0.30 – 0.40	5
CORONA	0.35 - 0.40	5
CAJA	0.30 - 0.35	8
ZAPATERA	0.35 - 0.45	5
AUXILIARES DE CORONA	0.35 - 0.40	5
TIROS HUECOS		2
TOTAL		46

Burden y distribución de taladros.

Los costos de las actividades unitarias de perforación y voladura están dados por la sumatoria de los costos durante los disparos de avance, costos de quipos y herramientas, requerido para las actividades y gasto en aire. Como son costos que la empresa ha venido empleando, ésta data se nos ha sido proporcionada por la empresa contratista JA.

3.1.3.1. Costo de aire comprimido con malla empírica de perforación

Tabla 4

Parámetros para calcular el costo de aire comprimido

PARÁMETROS		
Costo de aire por metro	100 S/ hrs	*29.904 \$/hrs
Tiempo de aire por disparo	2 hrs 30 min	2.5 hrs
N° de taladros	46	46
Tiempo de perforación por taladro	3 min 36 segundos	0.056 h/taladro
Avance de perforación	1.16 m/taladro	1.16 m/taladro

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.056 \frac{hrs}{taladro} * \frac{1 taladro}{1.16 m} * 29.904 \frac{\$}{hrs} = 1.444 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{disparo} = 1.444 \frac{\$}{m} * 46 \frac{taladros}{disparo} * 1.16 \frac{m}{taladro} = 77.052 \frac{\$}{disparo}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{taladro} = \frac{77.052 \frac{\$}{disparo}}{46 \frac{taladros}{disparo}} = 1.675 \frac{\$}{taladro}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 77.052 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 disparo}{1 m} = 77.052 \$/m$$

Para romper un 1m de roca el costo de aire comprimido es de 77.052 \$/m

3.1.3.2. Costo del desgaste del barreno de perforación con malla empírica

Tabla 5

Parámetros para calcular el costo del desgaste del barreno de perforación

Barreno	4 pies	
Costo de compra	350 soles	*104. 665 \$
Vida útil	8000 p.p	Pies perforados
Número de taladros	46	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{p.p} = \frac{104.665 \$}{8000 p.p} = 0.013 \frac{\$}{p.p}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.013 \frac{\$}{p.p} * \frac{1pie}{0.3048 m} = 0.043 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{disparo} = 0.043 \frac{\$}{m} * 46 \frac{taladros}{disparo} * 1.16 \frac{m}{taladro} = 2.294 \frac{\$}{disparo}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{taladro} = \frac{2.294 \frac{\$}{disparo}}{46 \frac{taladros}{disparo}} = 0.049 \frac{\$}{taladro}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 2.294 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 disparo}{1 m} = 2.294 \frac{\$}{m}$$

El costo de desgaste del barrero por metro es de 2.294 \$/m.

3.1.3.3. Costo de desgaste de una maquina perforación con malla empírica

Tabla 6

Parámetros para calcular el costo del desgaste de la Máquina perforadora con la malla empírica.

Tipo de Máquina	Jack leg	YT29
Costo de compra	2500 soles	*747. 608 \$
Vida útil	50000 p.p	Pies perforados
Depreciación	70 %	
Número de taladros	46	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{m} = \frac{747.608 \$}{50000 \text{ p.p}} * \frac{1 \text{ pie}}{0.3048 \text{ m}} = 0.049 \frac{\$}{m}$$

Costo de mantenimiento:

$$\frac{\$}{m} = 0.049 \frac{\$}{m} (0.7) = 0.034 \frac{\$}{m}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.049 \frac{\$}{m} + 0.034 \frac{\$}{m} = 0.083 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{\text{disparo}} = 0.083 \frac{\$}{m} * 46 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}} * 1.16 \frac{m}{\text{taladro}} = 4.429 \frac{\$}{\text{disparo}}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{\text{taladro}} = \frac{4.429 \frac{\$}{\text{disparo}}}{46 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}}} = 0.096 \frac{\$}{\text{taladro}}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 4.429 \frac{\$}{\text{disparo}} * \frac{1 \text{ disparo}}{1 m} = 4.429 \frac{\$}{m}$$

El costo de desgaste de la máquina perforadora en un metro de avance es de 4.429 \$/m.

3.1.3.4. Costo por consumo de broca con malla empírica
Tabla 7

Parámetros para el cálculo del costo del consumo de broca

Tipo	Broca descartable	
Costo de compra	50 soles	*14.952 \$
Vida útil	100 p.p	Pies perforados
Número de taladros	46	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{p.p} = \frac{14.952 \$}{100 p.p} = 0.149 \frac{\$}{p.p}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.149 \frac{\$}{p.p} * \frac{1 \text{ pie}}{0.3048 m} = 0.489 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{\text{disparo}} = 0.489 \frac{\$}{m} * 46 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}} * 1.16 \frac{m}{\text{taladro}} = 26.093 \frac{\$}{\text{disparo}}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{\text{taladro}} = \frac{26.093 \frac{\$}{\text{disparo}}}{46 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}}} = 0.567 \frac{\$}{\text{taladro}}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 26.093 \frac{\$}{\text{disparo}} * \frac{1 \text{ disparo}}{1m} = \mathbf{26.093 \frac{\$}{m}}$$

El costo por consumo de brocas es de 26.093 \$/m

3.1.3.5. Eficiencia de la perforación

$$Eficiencia = \frac{\text{avance efectivo}}{\text{longitud de taladro}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{1 m}{1.22 m} * 100$$

$$Eficiencia = 82\%$$

Tabla 8

Resumen de costos en perforación con la malla empírica.

DESCRIPCIÓN	USD \$/ DISPARO	USD \$/ METRO
Aire comprimido	77.052	77.052
Barreno 4"	2.294	2.294
Jack Leg	4.429	4.429
Broca	26.093	26.093
TOTAL (\$)	109.868	109.868

Para efecto del cálculo de la mejora en la perforación se han medido estos Ítem de acuerdo a la bibliografía revisada.

3.1.4. Costos de la voladura con la malla empírica

Para efecto de las mediciones de la voladura, se han medido las cantidades de insumos de explosivos empleados en la voladura de la labor en un disparo. Para ello solo se ha calculado las cantidades de explosivo empleado en un taladro para luego pasar a la medición del explosivo por metro lineal. Los datos recogidos son datos con los que la empresa emplea en sus costos. Esto con efecto de medir la diferencia con nuestra propuesta de mejora. Para poder realizar la medición, hemos tomado 5 voladuras realizadas durante los meses de octubre, noviembre y enero. Ver anexo 9.

Tabla 9

Costo de los materiales especiales empleados en la voladura, perteneciente al día 29 de octubre del 2019

MATERIALES ESPECIALES					
LABOR	Fulminante (Und)	Dinamita (Und)	Guía (Und)	Nitrato de amonio (Und)	Guía de seguridad (Und)
GALERIA	45	50	45	135	2
COSTO UNITARIO (S/)	1.10	1.70	1.20	0.20	0.24
TOTAL (S/)	213.980				
TOTAL (\$)	64.066				

Tabla de los costos de voladura en la Galería de la contra JA. Tipo de cambio USD 3.34

Tabla 10

Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 17 de noviembre del 2019.

MATERIALES ESPECIALES					
LABOR	Fulminante (Un)	Dinamita (Un)	Guía (Un)	Nitrato de amonio (Un)	Guía de seguridad (Un)
GALERIA	43	48	43	129	2
COSTO UNITARIO (S/)	1.10	1.70	1.20	0.20	0.24
TOTAL (S/)	206.780				
TOTAL (\$)	61.359				

Tabla de los costos de voladura en la Galería de la contra JA. Tipo de cambio USD 3.37

Tabla 11

Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 27 de noviembre del 2019

MATERIALES ESPECIALES					
LABOR	Fulminante (Un)	Dinamita (Un)	Guía (Un)	Nitrato de amonio (Un)	Guía de seguridad (Un)
GALERIA	45	50	45	135	2
COSTO UNITARIO (S/)	1.10	1.70	1.20	0.20	0.24
TOTAL (S/)	215.980				
TOTAL (\$)	64.089				

Tabla de los costos de voladura en la Galería de la contra JA. Tipo de cambio USD 3.37

Tabla 12

Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 08 de enero del 2020

MATERIALES ESPECIALES					
LABOR	Fulminante (Un)	Dinamita (Un)	Guía (Un)	Nitrato de amonio (Un)	Guía de seguridad (Un)
GALERIA	45	50	45	135	2
COSTO UNITARIO (S/)	1.10	1.70	1.20	0.20	0.24
TOTAL (S/)	215.980				
TOTAL (\$)	65.054				

Tabla de los costos de voladura en la Galería de la contra JA. Tipo de cambio USD 3.32

Tabla 13

Costo de los materiales especiales empleados en la voladura perteneciente al día 20 de enero del 2020

MATERIALES ESPECIALES					
LABOR	Fulminante (Un)	Dinamita (Un)	Guía (Un)	Nitrato de amonio (Un)	Guía de seguridad (Un)
GALERIA	46	51	46	138	2
COSTO UNITARIO	1.10	1.70	1.20	0.20	0.24
TOTAL S/	220.580				
TOTAL \$	66.440				

Tabla de los costos de voladura en la Galería de la contra JA. Tipo de cambio USD 3.32

Tabla 14

Resumen de costos en voladura con la malla empírica.

FECHAS	COSTO (\$/DISPARO)	COSTO (\$/m)
29-oct-2019	64.066	64.066
17-nov-2019	61.359	61.359
27-nov-2019	64.089	64.089
08-ene-2020	65.054	65.054
20-ene-2020	66.440	66.440
PROMEDIO (\$)	64.202	64.202

Se promedió los costos de explosivo de las 5 fechas, para obtener el costo de material explosivo que se utilizara en la optimización.

Tabla 15

Cuadro resumen de consumo de explosivo en malla empírica por disparo (Kg/disparo)

DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE TALADROS	SEMEXA 65			NITRATO DE AMONIO			MASA TOTAL DE EXPLOSIVO (Kg/disparo)
		N° DE CARTUCHOS POR TALADRO	TOTAL DE CARTUCHOS (0.081 kg/unid)	SEMEXA 65 (Kg)	N°DE CARTUCHOS POR TALADRO	TOTAL DE CARTUCHOS (0.131 kg/unid)	NITRATO DE AMONIO (Kg)	
ARRANQUE	4	2	8	0.648	3	12	1.572	2.22
CUADRANTE 1	4	1	4	0.324	3	12	1.572	1.896
CUADRANTE 2	4	1	4	0.324	3	12	1.572	1.896
CUADRANTE 3	4	1	4	0.324	3	12	1.572	1.896
CUADRANTE 4	5	1	5	0.405	3	15	1.965	2.37
CORONA	5	1	5	0.405	3	15	1.965	2.37
CAJA	8	1	8	0.648	3	24	3.144	3.792
ZAPATERA	5	2	10	0.81	3	15	1.965	2.775
AUXILIARES DE CORONA	5	1	5	0.405	3	15	1.965	2.37
TIROS HUECOS	2							
TOTAL	46		53	4.293		132	17.292	21.585

Del total de 53 cartuchos de Semexa 65% y 132 unidades de nitrato, el total de explosivo por disparo empleado en la galería de la contrata JA es de 21.585 Kg/disparo.

Tenemos el avance real o en otras palabras el avance que se obtuvo en el campo, para el caso son 5 muestras, se obtuvo un avance real de 1 m para cuatro de ellas y para una se obtuvo un avance real de 0.90 m (ver anexo 6). Este avance afectó directamente a la eficiencia de la voladura en un 26%.

Tabla 16

Eficiencia de la voladura en campo.

MEDICIÓN N	DISPAROS		AVANCE TEORIC O (m)	AVANCE PROGRAMA DO (95%)	AVANCE REAL CAMPO (m)	EFICIENCIA A CAMPO (%)
	AVANCE E	PRODUCCIÓN N				
1	1	-	1.22	1.159	1.00	82%
2	1	-	1.22	1.159	1.00	82%
3	1	-	1.22	1.159	1.00	82%
4	1	-	1.22	1.159	1.00	82%
5	1	-	1.22	1.159	0.90	74%
Promedio			1.22	1.159	0.98	80.4%

La tabla nos detalla la eficiencia obtenida en campo con los parámetros actuales empleados por la contrata JA, en el proceso de voladura en la galería, ver anexo 6.

Para la medición del volumen se emplea la relación de los avances reales medidos en campo y el área de la sección de nuestro túnel. El área de la sección es de 5 m^2 , obteniéndose los siguientes volúmenes:

Tabla 17

Volumen removido y avance por disparo con la malla empírica.

DISPARO	AVANCE REAL	AREA m^2	VOLUMEN m^3
1	1		5
2	1		5
3	1	5	5
4	1		5
5	0.9		4.5

Se presentan los volúmenes removidos en el proceso de la voladura de avance en la galería de la contrata JA.

Como siguiente punto, calcularemos el volumen y toneladas de material removido, el factor de potencia, factor de carga lineal, factor de carga y eficiencia.

Volumen:

$$vol = \text{area de seccion} * \text{avance efectivo}$$

$$vol = (2.00 * 2.50) * 1$$

$$vol = 5 \text{ m}^3$$

Toneladas:

$$ton = \text{volumen} * \rho$$

$$ton = 5 * 2.51$$

$$ton = 12.55 \text{ ton}$$

Factor de carga:

$$FC = \frac{\text{kg de explosivo total}}{\text{volumen roto}}$$

$$FC = \frac{21.585}{5}$$

$$FC = 4.32 \text{ kg/m}^3$$

Factor de potencia:

$$FP = \frac{\text{kg de explosivo total}}{\text{toneladas rotas}}$$

$$FP = \frac{21.585}{12.55}$$

$$FP = 1.72 \text{ kg/tn}$$

Factor de carga lineal:

$$FCL = \frac{\text{kg de explosivo total}}{\text{metro lineal}}$$

$$FCL = \frac{21.585}{1}$$

$$FCL = 21.585 \text{ kg/m}$$

Eficiencia de la voladura:

$$Eficiencia = \frac{\text{avance efectivo}}{\text{longitud de taladro}} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{1}{1.22} * 100$$

$$Eficiencia = 82\%$$

Tabla 18

Resultados de perforación y voladura con la malla empírica.

RESULTADOS DE MALLA EMPÍRICA			
Labor	Galería JA	N° Taladros producción	44
Volumen	5 m3	Taladros Alivio	2
Toneladas rotas	12.55 ton	Avance lineal	1 m
Factor carga	4.32 kg/m3	Avance perforado	1.16 m
Factor potencia	1.72 kg/tn	Eficiencia voladura	82%
FC lineal	21.59 kg/m	Eficiencia perforación	95%

Cuadro de resumen de la malla empírica o la malla con la que está trabajando la contrata JA.

Tabla 19

Resumen de los costos de perforación y voladura con la malla empírica.

DESCRIPCIÓN	\$/DISPARO	\$/METRO
PERFORACION	109.868	109.868
VOLADURA	62.208	62.208
TOTAL (\$)	172.076	172.076

Cuadro de resumen de los costos empleados para la perforación y voladura.

3.2. Diseño de la nueva malla de perforación propuesta para la galería con el apoyo de los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse.

El diseño está basado en el modelo matemático de Holmberg y la teoría de Pearse Monsanto, esto debido a que al momento del diseño observamos unas deficiencias y es por ello que se optó a usar ambos métodos en una combinación y así poder obtener datos más reales que vayan acorde con la realidad, a continuación, se presentan los procedimientos y cálculos desarrollados para poder diseñar nuestra malla de perforación combinando ambas teorías:

Tabla 20

VARIABLES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LA NUEVA MALLA DE PERFORACIÓN.

VARIABLES DE DISEÑO		
RMR	77	
GSI	72	
RQD	72.79	%
Tipo de roca	II	Buena
Densidad Roca	2.51	g/cm ³
Diámetro (1) Broca	36	mm
Diámetro (2) Taladró Alivio	36	mm
Eficiencia Perforación	95%	
Longitud Barreno (FT)	4	Ft
Ancho Labor	2	m
Alto Labor	2.5	m
Resistencia a la tracción roca	50.99	Kg/cm ²
Factor de tronabilidad de la roca (k)	0.70	R. Difícil

Estas variables a considerar se obtuvieron de la revisión bibliográfica y la información de la empresa (ver anexo 3 y 6).

A continuación, las especificaciones técnicas de los explosivos, recopiladas de las fichas técnicas.

Tabla 21

Especificaciones técnicas del explosivo Semexsa 65%

Descripción	Semexsa 65	Unidades
Densidad	1.12 +/- 3%	g/cm ³
Velocidad de detonación	4200 +/- 200	m/s
Presión de detonación	94	kbar
Energía	3433	KJ/kg
RWS	92	%
RBS	127	%
Volumen de gases	1015	l/kg
Resistencia al agua	Muy buena	
Dimensiones	7/8" x 7"	Pulgadas
UN/Caja	308	Und
Masa	81	g/Und

Para efectos de nuestra tesis, vamos a considerar a estas especificaciones técnicas del explosivo Semexsa 65 (Dinamita). Datos recopilada de la ficha técnica de EXSA (ver anexo 8).

Tabla 22

Especificaciones técnicas del ANFO y Nitrato de Amonio

Descripción	ANFO	Nitrato de Amonio (N.A)	Unidades
Densidad	0.82 +/- 3%	1.72	g/cm ³
Velocidad de detonación	3200 +/-200	-	m/s
Presión de detonación	21	-	kbar
Potencia Relativa por Peso (RWS)	85	-	%
Potencia Relativa por Volumen (RBS)			
Masa (encartuchada N.A)	-	0.131	Kg/und.

Para efectos de nuestra tesis, vamos a considerar a estas especificaciones técnicas del explosivo ANFO y Nitrato de Amonio. Datos recopilada de la ficha técnica (ver Anexo 8).

Paso 1: Avance por disparo según el diámetro de la broca y longitud de la barra (barreno), puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$l = 0.15 + 34.1 \phi_2 - 39.4 \phi_2^2$$

l: Longitud del taladro con respecto al diámetro equivalente.

ϕ_2 : Diámetro equivalente (m).

ϕ_1 : Diámetro de los taladros (m)

Donde, la longitud de avance requerido por disparo:

$$L = \text{Longitud barra} \times \text{Eficiencia perforación}$$

L: Longitud de taladro requerido.

$$L = 4ft(0.95) = 3.8 ft$$

$$L = 1.158 m$$

Utilizaremos una broca de 36 mm:

$$l = 0.15 + 34.1 (0.036 m) - 39.4(0.036)^2 = 1.327m$$

$$l = 1.327m$$

Nota: Si $l > L$, se tendría que calcular el diámetro equivalente agregándole un taladro de alivio más o utilizar una rimadora.

En este caso con la broca de 36 mm, si estaría cumpliendo el objetivo del 100%, pero sabemos que en minería o en cualquier otro sector no se trabaja al mismo ritmo por lo que se consideró a 95% el avance requerido.

Para nuestra investigación se realizará 2 taladros de alivio, por lo que se tiene que calcular un diámetro equivalente que está dado por la siguiente formula:

$$\phi_v = \phi_c \sqrt{2}$$

$$\phi_v = 0.036m \sqrt{2}$$

$$\phi_v = 0.051 m$$



Figura 2 Diámetro de taladros de alivio

Paso 2: Calculo para el diseño del arranque, para este paso emplearemos el RMR de nuestra labor, este RMR tiene un valor de 77:

RMR: 61 – 80 (II - Buena)

Calculamos el burden equivalente máximo:

$$B_{t0} = 1.5 * \phi_v$$

ϕ_v : *Diametro equivalente(m).*

$$B_{t0} = 1.5 * (0.051m) = \mathbf{0.077\ m}$$

Ancho de la abertura Ah_0 de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Ah_0 = B_{t0} * \sqrt{2}$$

$$Ah_0 = 0.077m * \sqrt{2}$$

$$Ah_0 = \mathbf{0.109\ m}$$

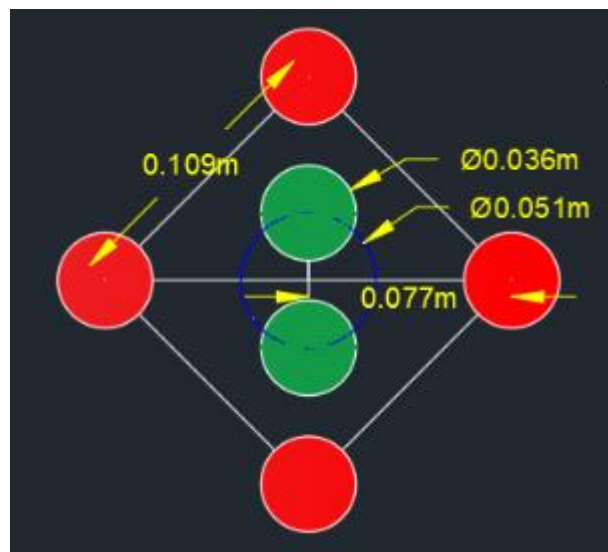


Figura 3 Diseño del arranque: Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Área taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m.

Consumo específico de explosivo "CE" formula modificada (Ashby. J)

$$CE = \frac{0.56 * \rho_{roca} * TAN\left(\frac{GSI + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - RQD}{3.3}}}$$

C. E: Consumo específico de explosivo

ρ_{roca} : Densidad de la roca (g/cm³)

GSI y RQD: Según la caracterización geomecanica

$$CE = \frac{0.56 * 2.51 * TAN\left(\frac{72 + 15}{2}\right)}{\sqrt[3]{\frac{115 - 72.79}{3.3}}} = 0.570 \text{ kg/m}^3$$

Constante de la roca "C":

$$C = 0.8784 * CE + 0.0052$$

CE: Consumo específico de explosivo

$$C = 0.8784 * 0.570 + 0.052 = 0.510 \text{ kg/m}^3$$

Grado de Fragmentación "AFr":

$$AFr = 96.667(CE)^3 - 138.5 (CE)^2 + 75.883(CE) - 4.41$$

Donde:

CE: Consumo específico de explosivo

$$AFr = 96.667(0.570)^3 - 138.5 (0.570)^2 + 75.883(0.570) - 4.41$$

$$AFr = 11.750$$

Cunningham (1983) indica que en su experiencia el límite más bajo para "A" incluso en tipos de roca muy débiles es A=8 y el límite superior es A = 12, pues en este caso tiene razón, el macizo rocoso es competente.

Índice de volatilidad lilly (BI):

$$BI = \frac{CE}{0.004}$$

$$BI = \frac{0.57}{0.004} = 142.5$$

Factor de energía (FE):

$$FE = 30 * CE$$

$$FE = 30 * 0.57 = 17.1 \text{ MJ/Tn}$$

Cálculo de carga lineal en el arranque (q_0):

$$q_0 = 55\phi_c \left(\frac{B_{t0}}{\phi_c}\right)^{1.5} \left(B_{t0} - \frac{\phi_c}{2}\right) \left(\frac{C}{0.4}\right) \left(\frac{1}{RWS_{ANFO}}\right)$$

$$q_0 = 55(0.036) \left(\frac{0.077}{0.036}\right)^{1.5} \left(0.077 - \frac{0.036}{2}\right) \left(\frac{0.51}{0.4}\right) \left(\frac{1}{0.85}\right)$$

$$q_0 = 0.548 \text{ kg/m}$$

Longitud de taco (L_T):

$$L_T = 10 * \phi_c$$

$$L_T = 10 * 0.036 = 0.36 \text{ m}$$

Longitud de carga (L_C):

$$L_C = L - L_T$$

$$L_C = 1.156 - 0.36 = 0.796 \text{ m}$$

Masa de carga explosiva (Q_{e0}):

$$Q_{e0} = q_0 * L_C$$

$$Q_{e0} = 0.548 (0.796) = 0.436 \text{ kg}$$

Predicción de la fragmentación (PF):

$$PF: AFR * (CE)^{\frac{4}{5}} (Q_{e0})^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{85}\right)^{\frac{19}{30}}$$

$$PF = 11.750 * (0.57)^{\frac{4}{5}} * (0.436)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{115}{85}\right)^{\frac{19}{30}}$$

$$PF = 7.903 \text{ cm}$$

Esto nos quiere decir que el 50% de la roca será menor a 7.903 cm

Paso 3: Cálculos del Primer cuadrante

$$B_{t1} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{A_{h0} * q_0 * RWS_{ANFO}}{\phi_c * C}} \right]$$

Donde:

B_{max1} = Burden máximo en el 1° cuadrante.

A_{h0} = Ancho de abertura de los taladros de arranque.

q_0 = Densidad de carga inicial (arranque).

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

ϕ_c = Diametro de taladro de cargado

C = Constante de la roca

$$B_{t1} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{0.109 * 0.548 * 0.85}{0.036 * 0.51}} \right]$$

$$B_{t1} = 0.146m$$

y

Calculamos longitud de X_1 de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$x_1 = \frac{Ah_0}{2} + B_{t1}$$

Donde:

x_1 = Longitud de la linea de (Ah_0) hacia la esquina del 1° cuadrante.

Ah_0 = Ancho de abertura de los taladros de arranque.

B_{t1} = Burden en el 1° cuadrante.

$$x_1 = \frac{0.109}{2} + 0.146 = 0.201 m$$

$$Ah_1 = \sqrt{(0.201)^2 + (0.201)^2} = 0.284m$$

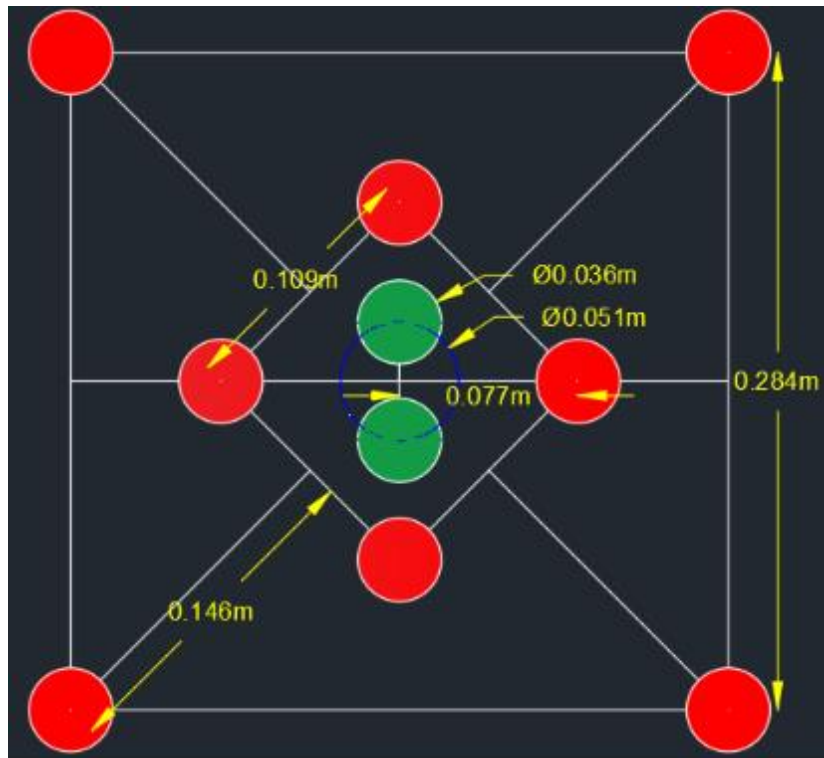


Figura 4 Diseño del arranque (Primer cuadrante), Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m. elaboración propia.

Cálculo de la densidad de carga en el 1° cuadrante.

$$q_1 = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{t1}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{Ah_0}{2 * B_{t1}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_1 = Densidad de la carga lineal en el primer cuadrante.

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

B_{t1} = Burden en el 1° cuadrante.

C = Constante de la roca

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

A_{h0} = Ancho de abertura de los aladros de arranque.

$$q_1 = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.146}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{0.109}{2 * 0.146} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_1 = 0.493 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en el 1° cuadrante.

$$Q_{e1} = q_1 * L_{Carga}$$

Donde:

Q_{e1} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_1 = Densidad de carga inicial (arranque).

L_{carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e1} = 0.493 * 0.796 = 0.392 \text{ kg}$$

Paso 4: Cálculos del segundo cuadrante

$$B_{t2} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{A_{h1} * q_0 * RWS_{ANFO}}{\phi_c * C}} \right]$$

Donde:

B_{t2} = Burden máximo en el 2° cuadrante.

A_{h1} = Ancho de abertura de los aladros de arranque.

q_0 = Densidad de carga inicial (arranque).

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

ϕ_c = Diametro de taladro de cargado

C = Constante de la roca

$$B_{t2} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{0.274 * 0.548 * 0.85}{0.036 * 0.51}} \right]$$

$$B_{t2} = 0.232 \text{ m}$$

Calculamos longitud de X_2 de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$x_2 = \frac{Ah_1}{2} + B_{t2}$$

Donde:

x_2 = Longitud de la linea de (Ah_1) hacia la esquina del 1° cuadrante.

Ah_0 = Ancho de abertura de los taladros de arranque.

B_{t2} = Burden práctico en el 2° cuadrante.

$$x_2 = \frac{0.284}{2} + 0.232 = 0.374 \text{ m}$$

$$Ah_2 = \sqrt{(0.374)^2 + (0.374)^2} = 0.529 \text{ m}$$

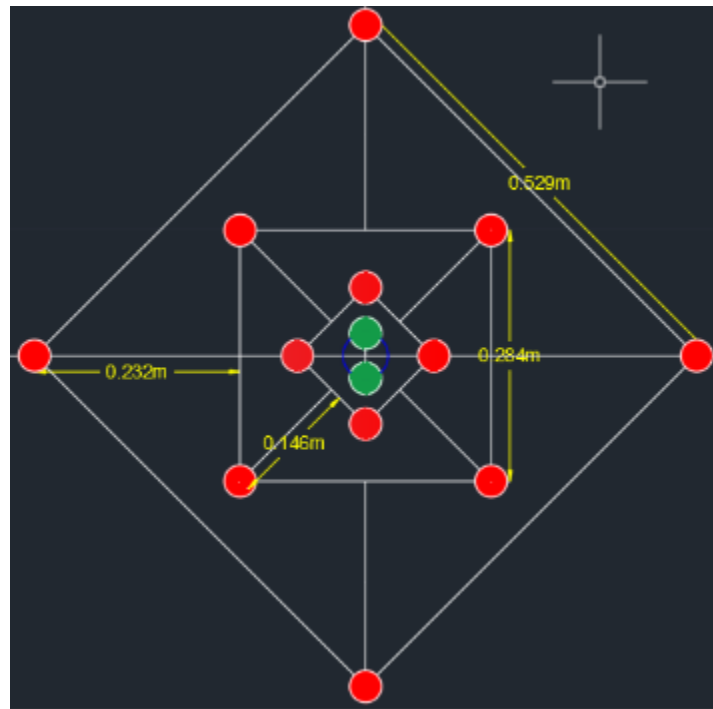


Figura 5 Diseño del Segundo cuadrante: Círculo línea azul. - Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. - Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m

Cálculo de la densidad de carga en el 2° cuadrante.

$$q_2 = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{t2}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{Ah_1}{2 * B_{t2}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_2 = Densidad de la carga lineal en el segundo cuadrante.

ϕ_c = Diámetro de taladro cargado.

B_{t2} = Burden en el 2° cuadrante.

C = Constante de la roca

q_0 = Densidad de carga inicial (arranque).

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

A_{h1} = Ancho de abertura de los aladros de arranque.

$$q_2 = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.232}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{0.284}{2 * 0.232} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_2 = 0.429 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en el 2° cuadrante.

$$Q_{e2} = q_2 * L_{Carga}$$

Donde:

Q_{e2} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_2 = Densidad de carga inicial en el 2° cuadrante

L_{carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e1} = 0.429 * 0.796 = 0.341 \text{ kg}$$

Paso 5: Cálculos del tercer cuadrante

$$B_{t3} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{A_{h2} * q_0 * RWS_{ANFO}}{\phi_c * C}} \right]$$

Donde:

B_{t3} = Burden máximo en el 3° cuadrante.

A_{h3} = Ancho de abertura de los taladros del 2° cuadrante.

q_0 = Densidad de carga inicial (arranque).

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

ϕ_c = Diametro de taladro de cargado

C = Constante de la roca

$$B_{t3} = 0.088 * \left[\sqrt{\frac{0.529 * 0.548 * 0.85}{0.036 * 0.51}} \right]$$

$$B_{t3} = 0.322 \text{ m}$$

Calculamos longitud de X_3 de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$x_3 = \frac{Ah_2}{2} + B_{t3}$$

Donde:

x_3 = Longitud de la linea de (Ah_2) hacia la esquina del 3° cuadrante.

Ah_0 = Ancho de abertura de los taladros de arranque.

B_{t2} = Burden práctico en el 3° cuadrante.

$$x_3 = \frac{0.529}{2} + 0.322 = 0.587 \text{ m}$$

$$Ah_3 = \sqrt{(0.587)^2 + (0.587)^2} = 0.830 \text{ m}$$

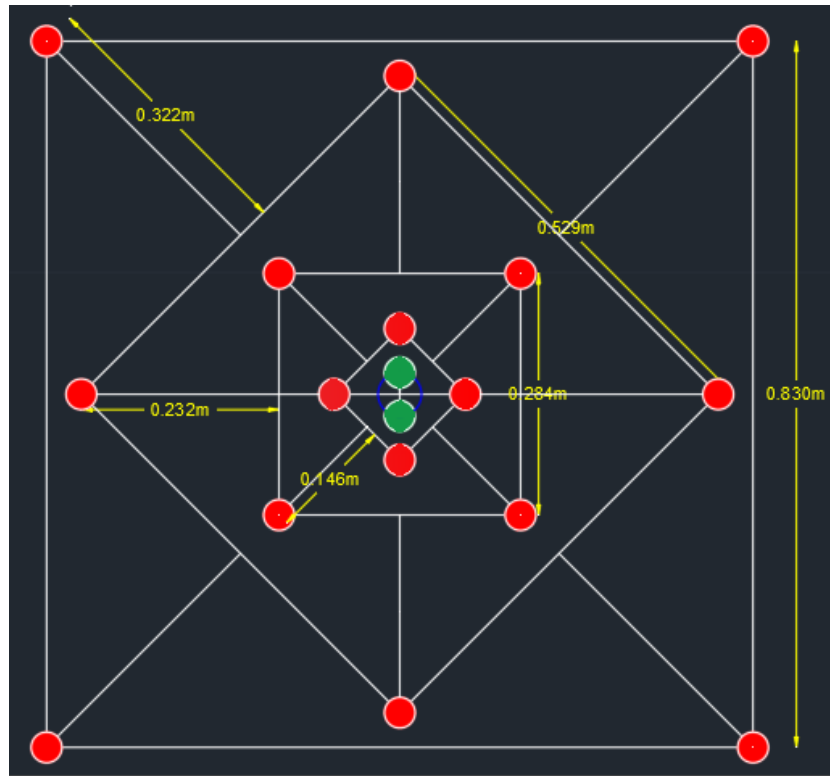


Figura 6 Diseño del tercer cuadrante: Círculo línea azul. Diámetro equivalente 0.051m. Círculos verdes. Diámetro de taladros de alivio 0.036m. Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m. Elaboración propia.

Cálculo de la densidad de carga en el 3° cuadrante.

$$q_3 = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{t3}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{A_{h2}}{2 * B_{t3}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_3 = Densidad de la carga lineal en el 2° cuadrante.

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

B_{t2} = Burden en el 2° cuadrante.

C = Constante de la roca

q_0 = Densidad de carga inicial (arranque).

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

A_{h2} = Ancho de abertura de los taladros de 2° cuadrante.

$$q_3 = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.322}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{0.529}{2 * 0.322} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_3 = 0.444 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en el 3° cuadrante.

$$Q_{e3} = q_3 * L_{Carga}$$

Donde:

Q_{e3} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_3 = Densidad de carga incial en el 3° cuadrante

L_{Carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e1} = 0.444 * 0.796 = 0.353 \text{ kg}$$

Calculando tiros de zapatera, corona, caja y auxiliares con la teoría de Pearse Monsanto

Paso 6: Cálculos de Zapatera (Factor de corrección $E_{max} = 0.7$)

$$E_{max} = \frac{K}{50} * D * \sqrt{\frac{PD}{RT}}$$

RT: Resistencia a la tracción de la roca (kg/cm²)

PD: Presión de detonación del explosivo (kg/cm²)

K: Factor de tronabilidad

D: Diámetro de la carga en (cm)

$$PD: 2.5 * 10^{-6} (\sigma_{explosivo}) (VOD)^2 \text{ (Kbar)}$$

$\sigma_{explosivo}$ = Densidad del explosivo

VOD = Velocidad de detonación del explosivo

$$PD = (Kbar) * 1019 = (kg/cm)$$

$$PD = 2.5 * 10^{-6} (1.72) (3000)^2$$

$$PD = 38.7 \text{ Kbar}$$

$$PD = 38.7 \text{ Kbar} (1019) = 39435.3 \text{ kg/cm}$$

Ahora calculamos el espaciamento máximo:

$$E_{max} = \frac{0.7}{50} * 2.22 * \sqrt{\frac{39435.3}{50.99}}$$

$$E_{max} = 0.865 \text{ m}$$

Espaciamiento corregido:

$$E_c - z = 0.7(0.865) = 0.606 \text{ m}$$

Número de espacios:

$$N^{\circ} e = \frac{\text{Ancho labor}}{E_c - z}$$

$$N^{\circ} e = \frac{2}{0.606} = 3.3 = 4 \text{ espacios}$$

Número de disparos:

$$N^{\circ} d = N^{\circ} e + 1 = 4 + 1 = 5 \text{ disparos}$$

Espaciamiento en la zapatera (Ez):

$$Ez = \frac{\text{Ancho Labor}}{N^{\circ} e}$$

$$Ez = \frac{2}{4} = 0.50 \text{ m}$$

Burden en la zapatera Bz:

$$\frac{Ez}{Bz} = 1.15$$

$$Bz = \frac{Ez}{1.15} = \frac{0.5}{1.15} = 0.435 \text{ m}$$

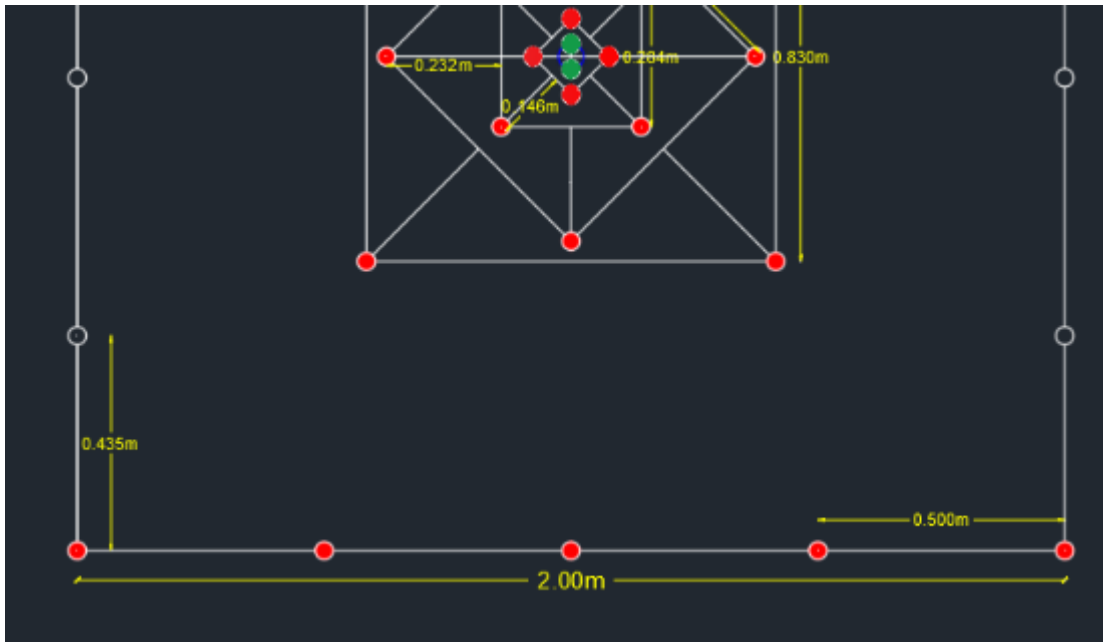


Figura 7 Diseño de tiros de zapatera Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m

Cálculo de la densidad de carga en la zapatera

$$q_z = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_z}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{E_{max}}{2 * B_z} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_z = Densidad de la carga lineal en la zapatera.

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

B_z = Burden en la zapatera

C = Constante de la roca

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

E_{max} = Ancho de abertura de los taladros.

$$q_z = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.435}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{0.606}{2 * 0.435} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_z = 0.702 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en la zapatera

$$Q_{e-z} = q_z * L_{carga}$$

Donde:

Q_{e-z} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_z = Densidad de carga inicial en la zapatera.

L_{carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e-z} = 0.702 * 0.796 = 0.558 \text{ kg}$$

Paso 7: Cálculos de disparos en caja (Factor de corrección $E_{max} = 0.9$)

En los contornos debemos utilizar explosivo de menor energía.

En este caso nosotros utilizaremos el mismo explosivo en toda la malla por lo cual es espaciamento máximo será el mismo que el de la zapatera.

Espaciamento máximo:

$$E_{max} = 0.865 \text{ m}$$

Espaciamento corregido:

$$E_c - c = 0.9(0.865) = 0.779 \text{ m}$$

Número de espacios:

$$N^{\circ} e = \text{Altura de caja} - Bz / E_c - c$$

$$N^{\circ} e = \frac{2 - 0.435}{0.779} = 2$$

Número de disparos:

$$N^{\circ} d = N^{\circ} e + 1 = 2 + 1 = 3 \text{ disparos}$$

Espaciamento en la caja (E_{caja}):

$$E_{caja} = (\text{Altura de caja} - Bz) / N^{\circ} \text{disparos}$$

$$E_{caja} = \frac{2 - 0.435}{3} = 0.522 \text{ m}$$

Burden en la caja (B_{caja}):

$$B_{caja} = \frac{E_{caja}}{1.15}$$

$$B_{caja} = \frac{0.522}{1.15} = 0.454 \text{ m}$$

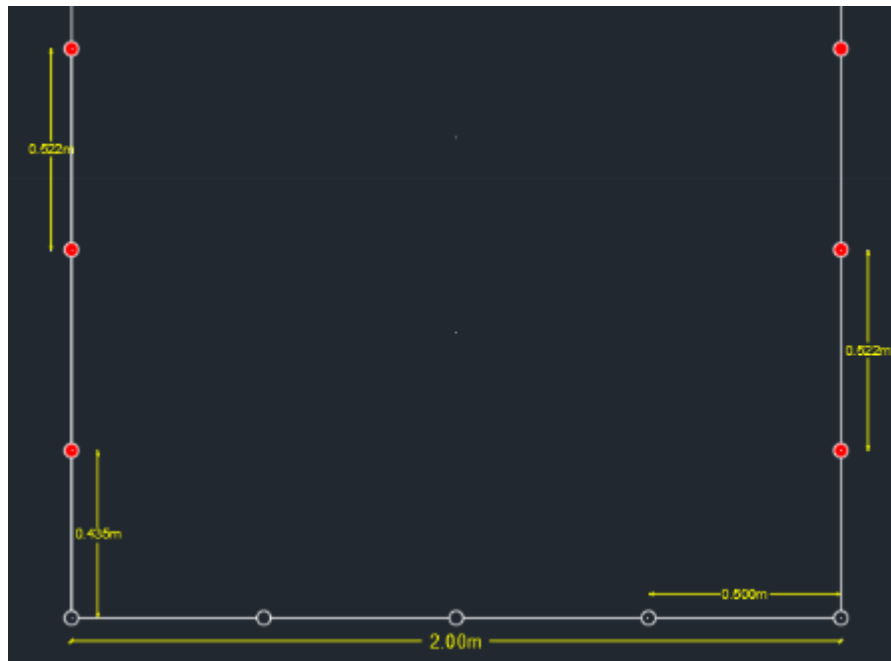


Figura 8 Diseño de tiros de Caja: Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m.

Cálculo de la densidad de carga en la caja

$$q_{caja} = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{caja}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arcotang} \left(\frac{E_{caja}}{2 * B_{caja}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_{caja} = Densidad de la carga lineal en la caja

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

B_{caja} = Burden en la caja.

C = Constante de la roca

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

$E_{caja-corrregido}$ = Ancho de abertura de los taladros.

$$q_{caja} = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.454}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arcotang} \left(\frac{0.779}{2 * 0.454} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_{caja} = 0.603 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en la caja.

$$Q_{e-caja} = q_{caja} * L_{carga}$$

Donde:

Q_{e-caja} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_{caja} = Densidad de carga incial en la zapatera.

$L_{carga} = \text{Longitud ocupado por el explosivo.}$

$$Q_{e-caja} = 0.603 * 0.796 = \mathbf{0.479 \text{ kg}}$$

Paso 8: Cálculos de disparos en corona (Factor de corrección $E_{max} = 0.9$)

En los contornos debemos utilizar explosivo de menor energía.

En este caso nosotros utilizaremos el mismo explosivo en toda la malla por lo cual es espaciamento máximo será el mismo que el de la corona.

Espaciamento máximo:

$$E_{max} = \mathbf{0.865 \text{ m}}$$

Espaciamento corregido:

$$E_c = 0.9(0.865) = 0.779 \text{ m}$$

Longitud de arco:

$$L_{arco} = 2\pi(r)\beta/360$$

$$L_{arco} = 2.318 \text{ m}$$

Número de espacios:

$$N^{\circ} e = L_{arco}/E_c$$

$$N^{\circ} e = \frac{2.318}{0.779} = 2.85 = 3$$

Número de disparos:

$$N^{\circ} d = N^{\circ} e + 1 = 3 + 1 = 4 \text{ disparos}$$

Espaciamento en la corona (E_{corona}):

$$E_{corona} = L_{arco}/N^{\circ} \text{espacios}$$

$$E_{corona} = \frac{2.318}{3} = 0.581 \text{ m}$$

Burden en la corona (B_{caja}):

$$B_{Corona} = \frac{E_{Corona}}{1.15}$$

$$B_{Corona} = \frac{0.581}{1.15} = 0.505 \text{ m}$$

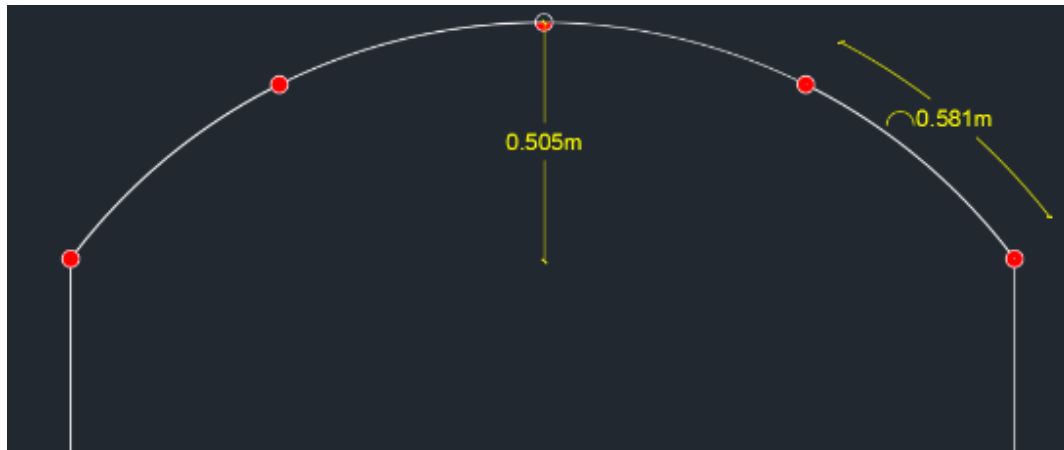


Figura 9 Diseño de tiros de Corona: Círculos rojos. - Área de taladros con broca de 0.036m.

Cálculo de la densidad de carga en la corona:

$$q_{corona} = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{corona}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{E_{Corona}}{2 * B_{corona}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

q_{corona} = Densidad de la carga lineal en la corona

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

B_{corona} = Burden en la corona

C = Constante de la roca

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

E_{Corona} = Ancho de abertura de los taladros.

$$q_{corona} = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.505}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arctang} \left(\frac{0.779}{2 * 0.505} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_{Corona} = 0.738 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en la corona.

$$Q_{e-caja} = q_{caja} * L_{carga}$$

Donde:

Q_{e-caja} = Masa de explosivo utilizado por taladro.

q_{caja} = Densidad de carga incial en la zapatera.

L_{carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e-caja} = 0.738 * 0.796 = 0.587 \text{ kg}$$

Paso 9: Cálculos de auxiliares de corona (Factor de corrección $E_{max} = 0.8$)

En este caso nosotros utilizaremos el mismo explosivo en toda la malla por lo cual es espaciamento máximo será el mismo que el de la corona.

Espaciamento máximo:

$$E_{max} = 0.865 \text{ m}$$

Espaciamento corregido:

$$E_c = 0.8(0.865) = 0.692 \text{ m}$$

Espacio disponible (Ed):

$$Ed = \text{Alto labor} - (Bz + B_{corona} + \text{Ancho Arranque})$$

$$Ed = 2.5 - (0.435 + 0.505 + 0.803)$$

$$Ed = 0.757 \text{ m}$$

Número de hileras (N° h):

$$N^{\circ}h = \text{Espacio disponible} / E \text{ corregido}$$

$$N^{\circ}h = 0.757 / 0.692 = 1.09 \approx 1$$

Espacio disponible horizontal (Eh):

$$Eh = \text{Arco} - 2B_{corona}$$

$$Eh = 2.318 - 2(0.505) = 1.308 \text{ m}$$

Número de espacios (N°e):

$$N^{\circ}e = Eh / E_{corregido}$$

$$N^{\circ}e = \frac{1.308}{0.692} = 1.89 \approx 2$$

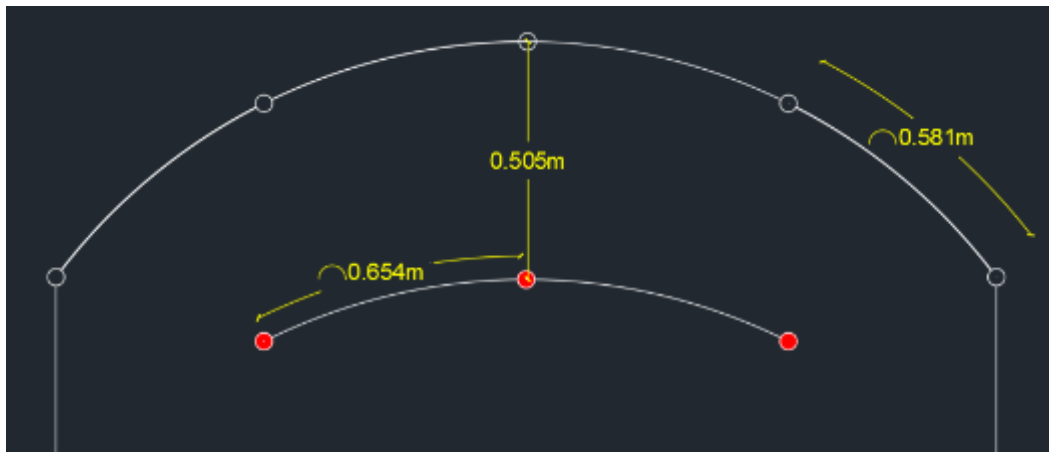
Espaciamento auxiliar de corona ($E_{Aux\text{-}corona}$):

$$E_{Aux\text{-}Corona} = Eh / N^{\circ}e$$

$$E_{Aux\text{-}Corona} = \frac{1.308}{2} = 0.654 \text{ m}$$

Burden auxiliar de corona ($B_{Aux\text{-}corona}$):

$$B_{Aux\text{-}corona} = \frac{E_{Aux\text{-}Corona}}{1.15}$$



$$B_{Aux-corona} = \frac{0.654}{1.15} = 0.569 \text{ m}$$

Figura 10 Diseño de tiros auxiliares de Corona: Círculos rojos. Área de taladros con broca de 0.036m.

Cálculo de la densidad de carga para los auxiliares de corona:

$$q_{aux-corona} = \frac{32.3 * \phi_c * C * B_{corona}}{RWS_{ANFO} * \text{sen} \left(\text{arcotang} \left(\frac{E_{corona}}{2 * B_{corona}} \right) \right)^{1.5}}$$

Donde:

$q_{aux-corona}$ = Densidad de la carga lineal en la corona

ϕ_c = Diametro de taladro cargado.

$B_{aux-corona}$ = Burden en la corona

C = Constante de la roca

RWS_{ANFO} = PRP del explosivo a emplear con respecto al ANFO.

$E_{aux-Corona}$ = Ancho de abertura de los taladros.

$$q_{aux-Corona} = \frac{32.3 * 0.036 * 0.51 * 0.569}{0.85 * \text{sen} \left(\text{arcotang} \left(\frac{0.692}{2 * 0.569} \right) \right)^{1.5}}$$

$$q_{aux-Corona} = 1.06 \text{ kg/m}$$

Cálculo de masa explosiva utilizado por taladro en el 3° cuadrante.

$$Q_{e-aux-corona} = q_{aux-Corona} * L_{Carga}$$

Donde:

$Q_{e-aux-corona}$ = Masa de explosivo utilizado por taladro.

$q_{aux-Corona}$ = Densidad de carga incial en la zapatera.

L_{Carga} = Longitud ocupado por el explosivo.

$$Q_{e-caja} = 1.06 * 0.796 = 0.844 \text{ kg}$$

3.2.1. Resultados de perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación.

Tabla 23

Resultados de la nueva malla de perforación.

DESCRIPCIÓN	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	DENSIDAD DE CARGA (Kg/m)	MASA DE EXPLOSIVO (kg/Taladro)	NÚMERO DE TALADROS
ARRANQUE	0.077	0.109	0.548	0.436	4
CUADRANTE 1	0.146	0.284	0.493	0.392	4
CUADRANTE 2	0.232	0.529	0.429	0.341	4
CUADRANTE 3	0.322	0.830	0.444	0.353	4
CORONA	0.505	0.581	0.738	0.587	5
CAJA	0.454	0.522	0.483	0.384	6
ZAPATERA	0.435	0.500	0.603	0.479	5
AUXILIARES DE CORONA	0.569	0.654	1.06	0.844	3
TIROS HUECOS					2
TOTAL					37

Tabla resumen de los parametros calculados necesarios para el diseño de la nueva malla.

Realizados los calculos necesarios y determinados los burden, espaciamentos, en cada uno de los cuadrantes, corona y sobre todo los de caja y zapatera, pudimos determinar que para la contrata JA se pueda optimizar y mejorar gastos en la perforacion y voladura, se recomienda que se empleen 37 taladros en la nueva malla.

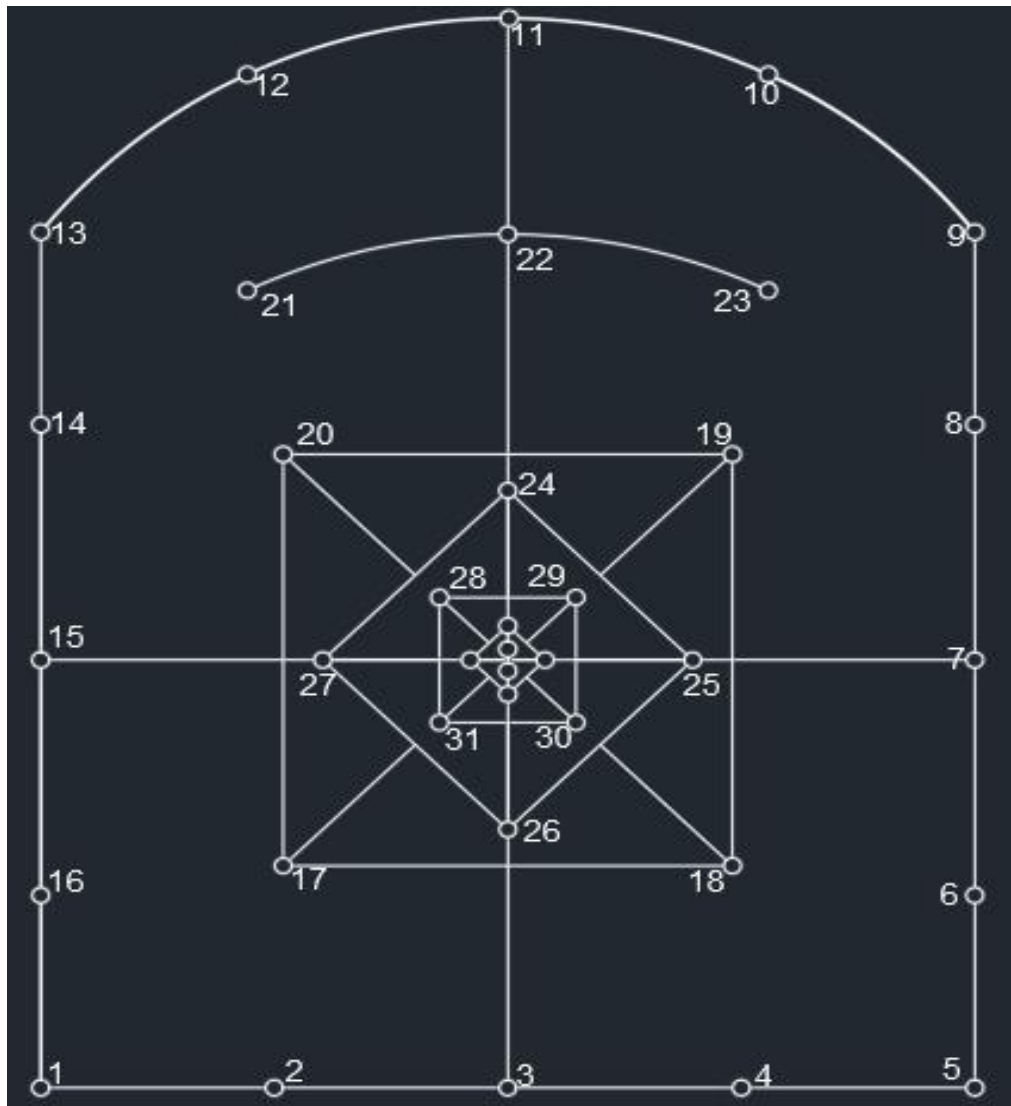


Figura 11 estructura y distribución de los 37 taladros en la nueva malla de perforación. Las distancias que se muestran en esta imagen, son las distancias calculadas sin corrección.

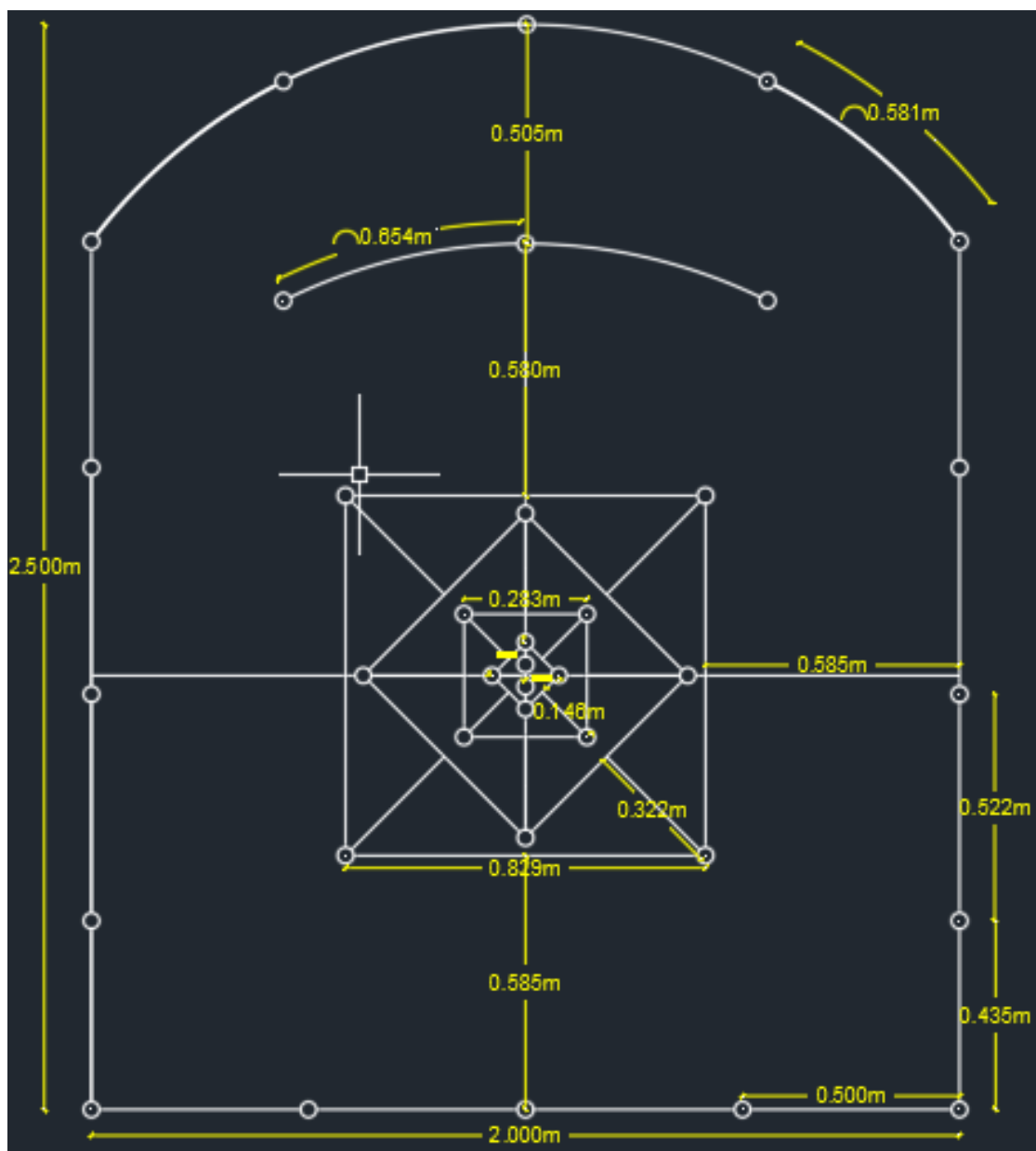


Figura 12 En la imagen se puede ver plasmados las medidas calculadas en el diseño de la malla de perforación sin ninguna modificación.

Para este diseño se realizó un análisis de la distribución de la energía del explosivo y el PPV en el programa Jksimblas en módulo subterráneo 2D Face, teniendo como resultados lo siguiente:

Análisis de la velocidad de las pico partículas PPV.

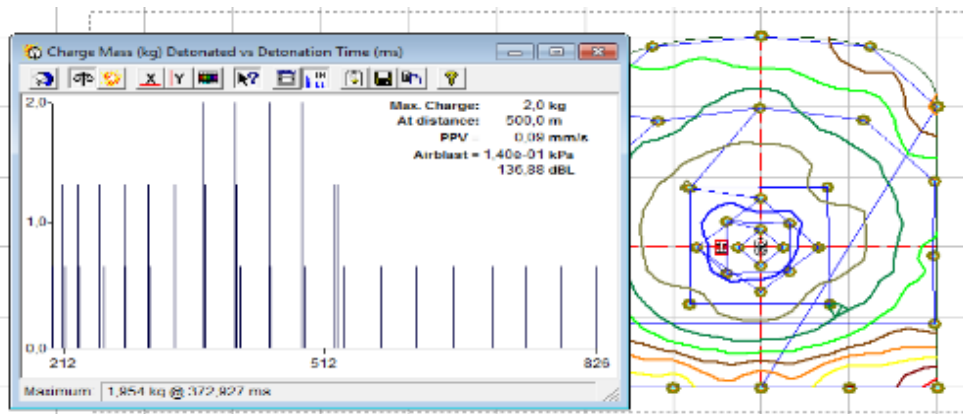


Figura 13 Velocidad pico de las partículas de la malla que no tiene ninguna modificación de los parámetros de perforación y voladura, analizada a 500 m.

Análisis de la distribución de la energía del explosivo en toda la malla de perforación y voladura.

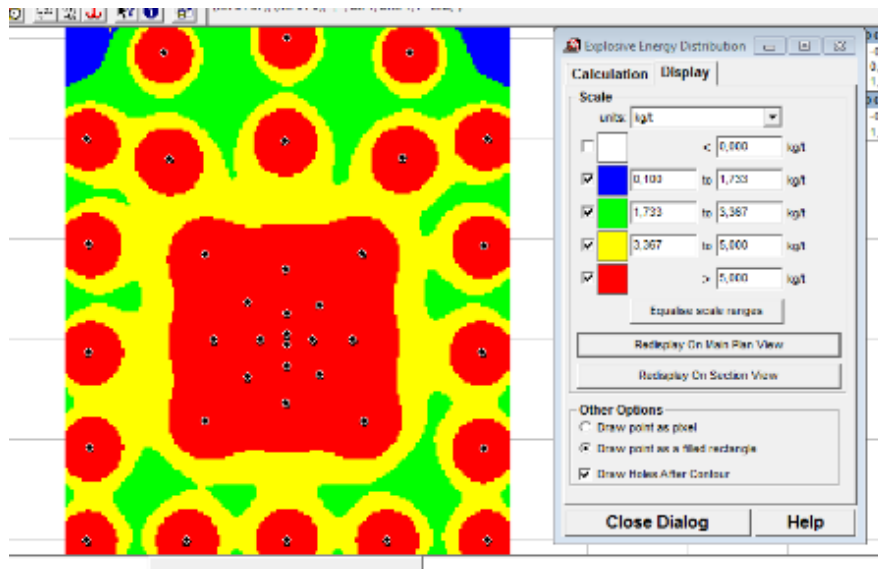


Figura 14 Distribución de la energía en la malla sin ninguna modificación de los parámetros de perforación y voladura

En esta distribución de la energía del explosivo se puede observar que la mayor concentración se encuentra en el arranque, en donde también podemos observar que la energía es más débil al contorno ya los hastailes se deben proteger para reducir la sobre

excavación, la energía se conecta en toda la malla por lo que se dice que esta malla es correcta y sería eficiente al aplicarla en campo.

Tabla 24

Resultados de la malla de perforación con algunas modificaciones para dibujar en campo.

DESCRIPCIÓN	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	DENSIDAD DE CARGA (Kg/m)	MASA DE EXPLOSIVO (kg/Taladro)	NÚMERO DE TALADROS
ARRANQUE	0.080	0.110	0.548	0.436	4
CUADRANTE 1	0.150	0.290	0.493	0.392	4
CUADRANTE 2	0.250	0.560	0.429	0.341	4
CUADRANTE 3	0.350	0.960	0.444	0.353	4
CORONA	0.505	0.581	0.738	0.587	5
CAJA	0.454	0.550	0.483	0.384	6
ZAPATERA	0.450	0.500	0.603	0.479	5
AUXILIARES DE CORONA	0.569	0.654	1.06	0.844	3
TIROS HUECOS					2
			TOTAL		37

Una vez calculados los espaciamientos, burden, entre otros; corregimos algunos parámetros redondeando al inmediato superior, si el frente de trabajo lo requiera.

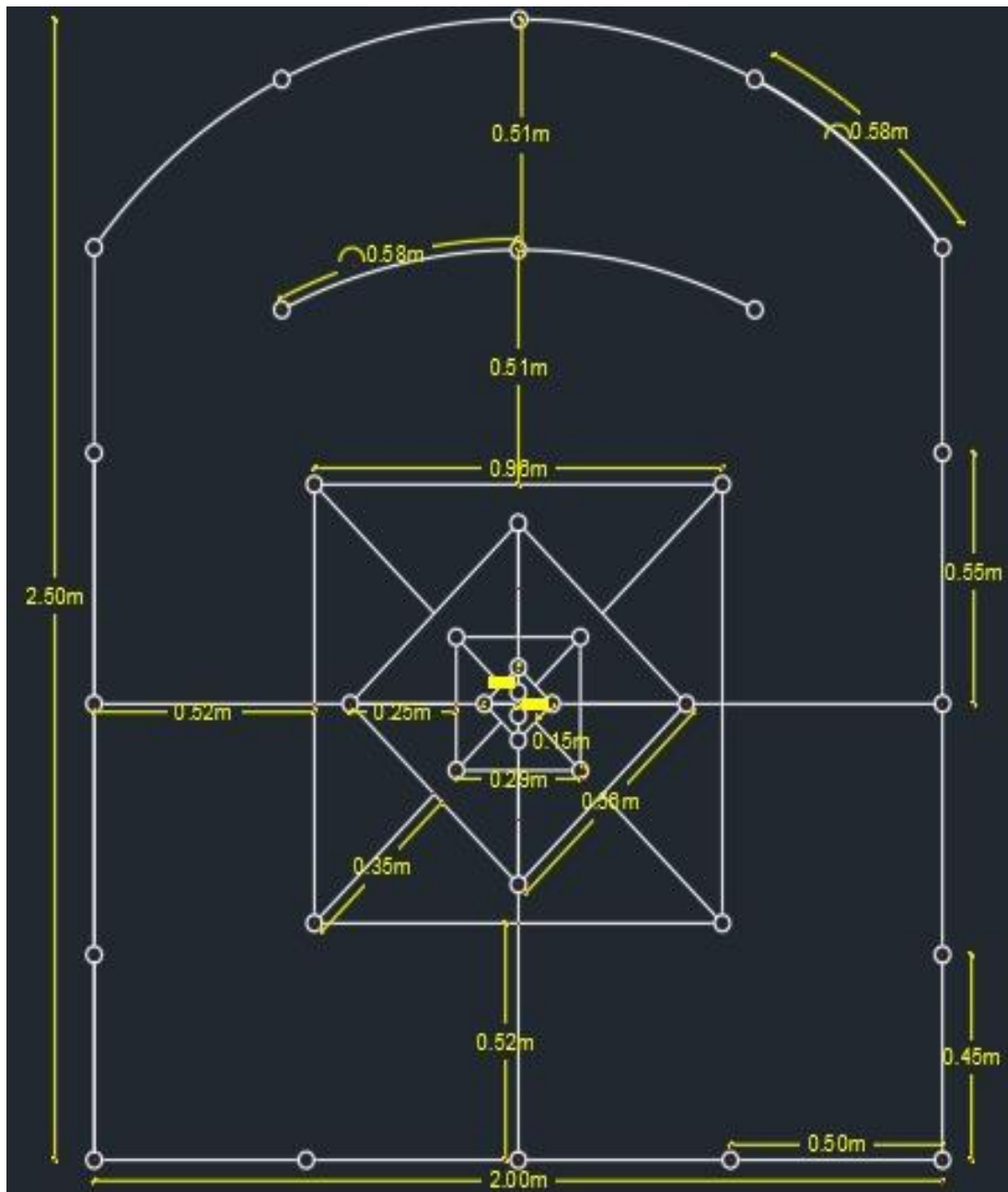


Figura 15 Malla de perforación con las medidas compensadas para un trazo más realista en campo, ya que nos adecuaremos a la realidad diferente a los cálculos de gabinete.

Para este diseño se realizó un análisis de la distribución de la energía del explosivo y el PPV en el programa Jksimblas en módulo subterráneo 2D fase, teniendo como resultados lo siguiente (el procedimiento de desarrollo en el software se encuentra en el anexo 10):

Analisis de la velocidad de las pico particulas PPV.

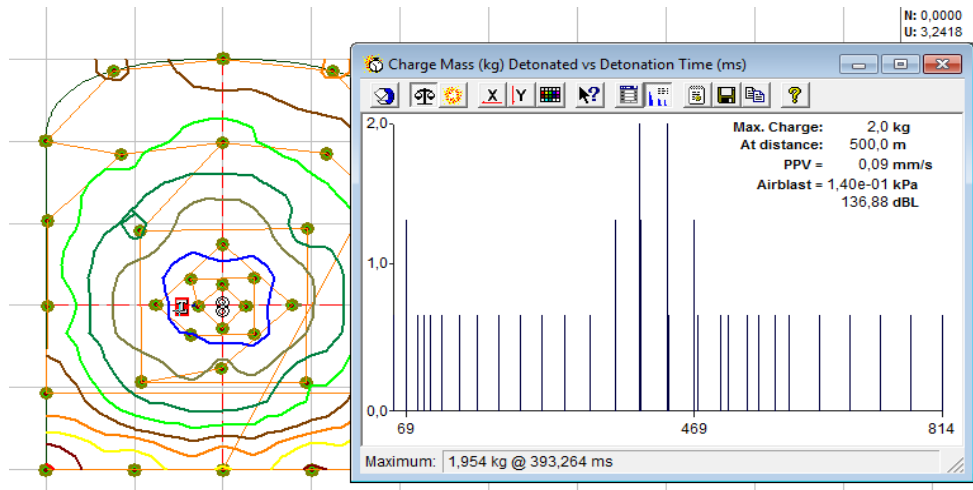


Figura 16 Velocidad pico de las partículas de la malla que se modificaron algunos parámetros de perforación y voladura, analizada a 500 m.

Análisis de la distribución de la energía del explosivo en toda la malla de perforación y voladura.

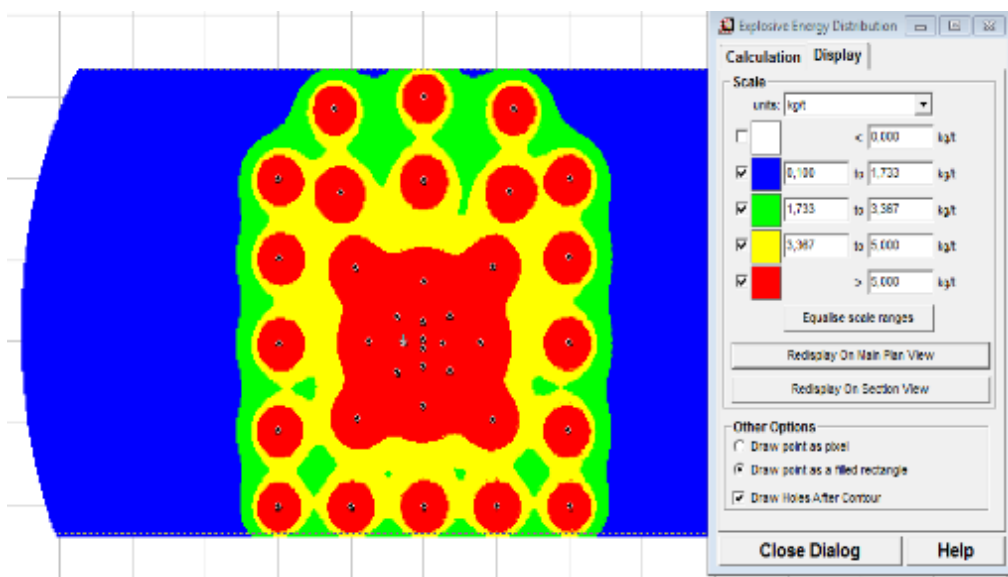


Figura 17 Distribución de la energía en la malla que se modificaron algunos parámetros de perforación y voladura

En esta distribución de la energía del explosivo se puede observar que la mayor concentración se encuentra en el arranque, en donde también podemos observar que la energía es más débil al contorno ya los hastiales se deben proteger para reducir la sobre excavación, la energía se conecta en toda la malla por lo que se dice que esta malla es correcta y seria eficiente al aplicarla en campo.

Interpretación de los análisis anteriores de las mallas de perforación.

Al realizar el diseño de la malla de perforación y voladura en el JKsimblast en el 2DFace, se realizó la simulación de dos mallas, siendo la primera con resultados exactos de los modelos matemáticos y la segunda redondeando al inmediato superior los burden de algunos cuadrantes, para así pintar en campo ya que en la unidad minera no se cuenta con equipos de alta precisión, al final se concluye ambas mallas son válidas ya que no difiere en mucho la primera con la segunda, en la primera se tendrá menor sobre excavación con respecto a la segunda malla, pero la probabilidad de quedar tacos o soplar es mayor en la primera malla con respecto a la segunda, por lo que se recomienda en este estudio pintar la segunda malla para así asegurar el avance lineal y evitar sobre costos en la perforación y voladura.

La velocidad pico de las partículas es la misma en ambos análisis ya que con esta podemos medir las vibraciones y al interpretar esto se concluye que la carga explosiva es la misma por eso no cambia el PPV en las simulaciones.

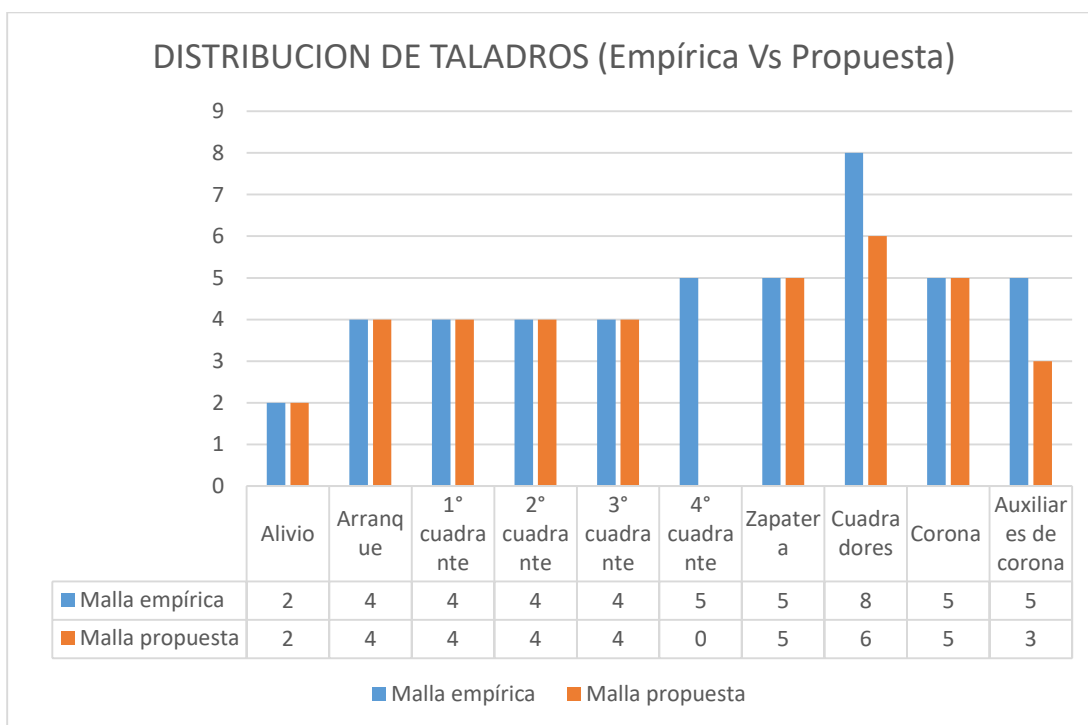


Gráfico 3 En la imagen se ve la distribución de taladros entre las dos mallas de perforación y nos permite apreciar que hay una disminución de taladros en un 19.5 %.

3.3. Cálculo de los costos de perforación y voladura con los resultados de la nueva malla propuesta.

3.3.1. Costos de perforación con la malla propuesta

3.3.1.1. Costo de aire comprimido con malla propuesta de perforación

Tabla 25

Parámetros para calcular el costo de aire comprimido con la malla propuesta.

	PARÁMETROS	
Costo de aire por hora	100 S/ hrs	*29.904 \$/hrs
Tiempo de aire por disparo	2 hrs	2 hrs
N° de taladros	37	37
Tiempo de perforación por taladro	3 min 36 segundos	0.056 h/taladro
Avance de perforación	1.16 m/taladro	1.16 m/taladro

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.056 \frac{hrs}{taladro} * \frac{1 taladro}{1.16 m} * 29.904 \frac{\$}{hrs} = 1.444 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{disparo} = 1.444 \frac{\$}{m} * 37 \frac{taladros}{disparo} * 1.16 \frac{m}{taladro} = 61.976 \frac{\$}{disparo}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{taladro} = \frac{61.976 \frac{\$}{disparo}}{37 \frac{taladros}{disparo}} = 1.675 \frac{\$}{taladro}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 61.976 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 \text{ disparo}}{1.16 \text{ m}} = 53.427 \$/m$$

Para romper un 1m de roca el costo de aire comprimido ahora será de 53.427 \$/m

Tabla 26

Comparación de costos de consumo de aire comprimido malla empírica vs malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	ANTERIOR	PROPUESTA	UNIDADES
Aire comprimido	77.052	53.428	\$ / m
DIFERENCIA	23.624		\$ / m

Comparativo entre los costos anterior y actual del aire comprimido.

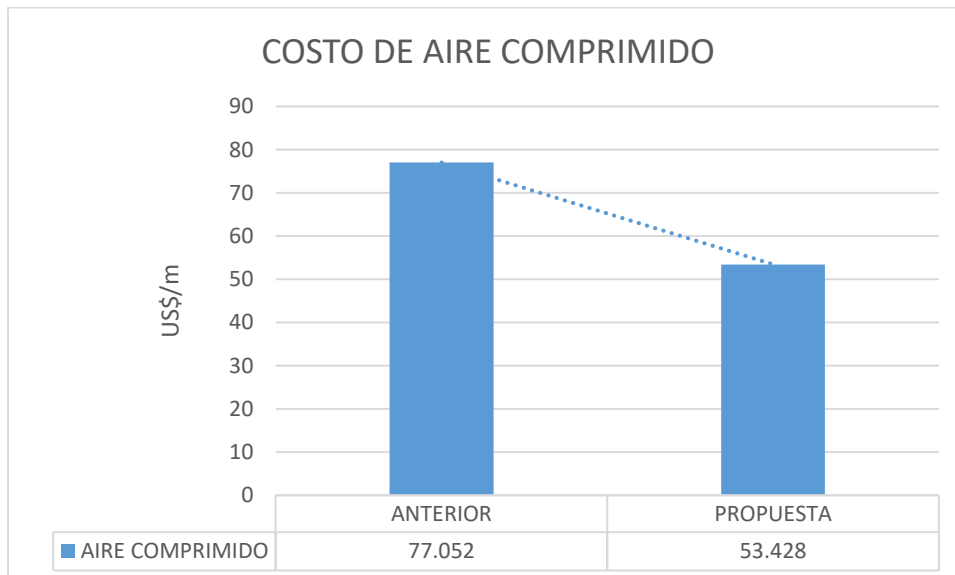


Gráfico 4 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de aire comprimido, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 23.624 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.

3.3.1.2. Costo del barreno de perforación con malla propuesta

Tabla 27

Parámetros para el cálculo del costo del desgaste del barreno de perforación con malla propuesta

Tipo	Barreno	4 pies
Costo de compra	350 soles	*104. 665 \$
Vida útil	8000 p.p	Pies perforados
Número de taladros	37	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{p.p} = \frac{104.665 \$}{8000 p.p} = 0.013 \frac{\$}{p.p}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.013 \frac{\$}{p.p} * \frac{1pie}{0.3048 m} = 0.043 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{disparo} = 0.043 \frac{\$}{m} * 37 \frac{taladros}{disparo} * 1.16 \frac{m}{taladro} = 1.845 \frac{\$}{disparo}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{taladro} = \frac{1.845 \frac{\$}{disparo}}{37 \frac{taladros}{disparo}} = 0.049 \frac{\$}{taladro}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 1.845 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 \text{ disparo}}{1.16 m} = 1.591 \frac{\$}{m}$$

El costo de desgaste del barrero por metro es de 1.591 \$/m

Tabla 28

Comparación de costos de desgaste de barreno con malla empírica Vs malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	ANTERIOR	PROPUESTA	UNIDADES
Barreno de perforación	2.294	1.591	\$/ m
DIFERENCIA	0.703		\$/ m

Comparativo entre el costo anterior contra los gastos actuales en el uso de barrenos.

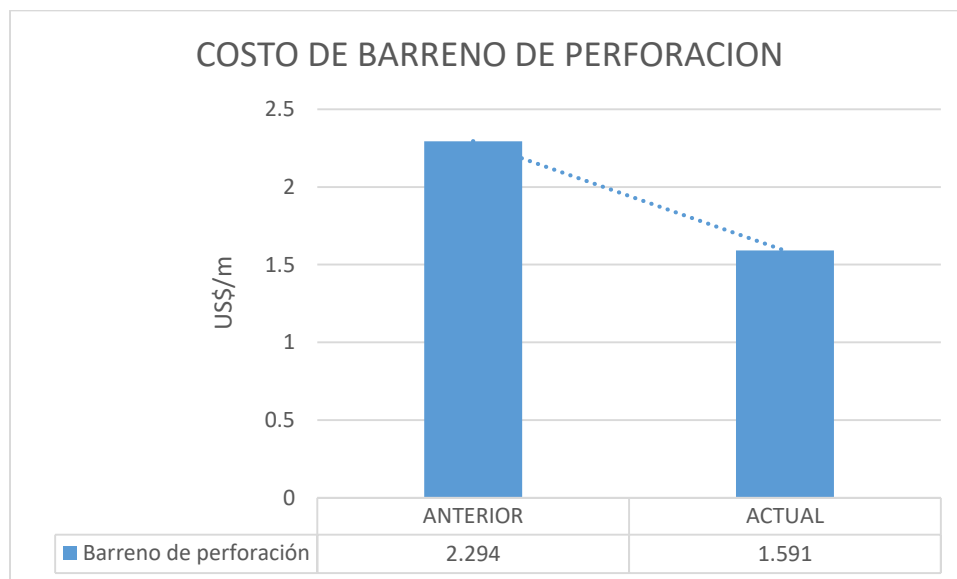


Gráfico 5 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de barreno de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 0.703 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.

3.3.1.3. Costo de desgaste de una maquina perforación con malla propuesta

Tabla 29

Parámetros para calcular el costo del desgaste de máquina perforadora con la malla propuesta.

Tipo	Jack leg	YT29
Costo de compra	2500 soles	*747. 608 \$
Vida útil	50000 p.p	Pies perforados
Depreciación	70 %	
Número de taladros	37	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{m} = \frac{747.608 \$}{50000 \text{ p.p}} * \frac{1 \text{ pie}}{0.3048 \text{ m}} = 0.049 \frac{\$}{m}$$

Costo de mantenimiento:

$$\frac{\$}{m} = 0.049 \frac{\$}{m} (0.7) = 0.034 \frac{\$}{m}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.049 \frac{\$}{m} + 0.034 \frac{\$}{m} = 0.083 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{\text{disparo}} = 0.083 \frac{\$}{m} * 37 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}} * 1.16 \frac{m}{\text{taladro}} = 3.562 \frac{\$}{\text{disparo}}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{\text{taladro}} = \frac{3.562 \frac{\$}{\text{disparo}}}{37 \frac{\text{taladros}}{\text{disparo}}} = 0.096 \frac{\$}{\text{taladro}}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 3.562 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 \text{ disparo}}{1.16 m} = 3.071 \frac{\$}{m}$$

El costo de desgaste de la máquina perforadora en un metro de avance es de 3.071 \$/m

Tabla 30

Comparación de costos de desgaste de la máquina perforadora malla empírica vs malla propuesta

DESCRIPCIÓN	ANTERIOR	PROPUESTA	UNIDADES
Máquina perforadora	4.429	3.071	\$/ m
DIFERENCIA	1.358		\$/ m

Diferencia de costos actuales versus antigua en cuanto al uso de la máquina perforadora.

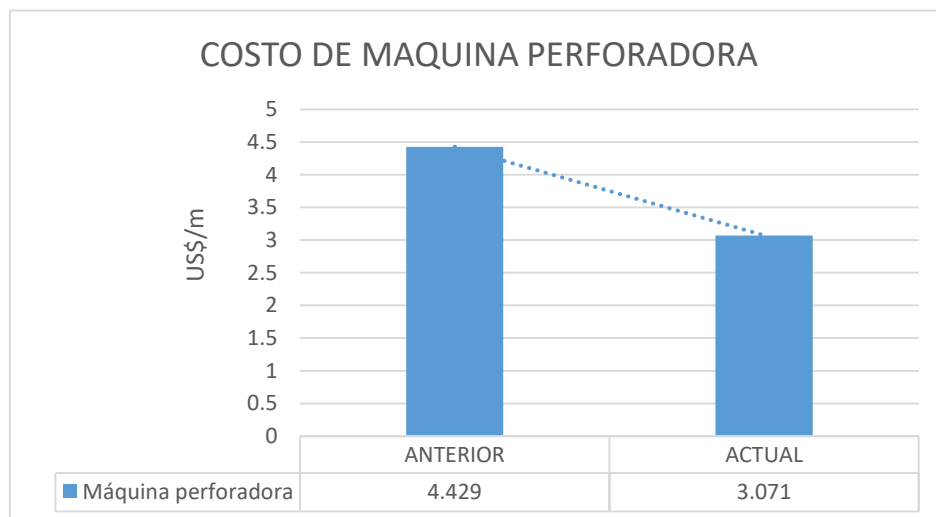


Gráfico 6 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de máquina de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 1.358 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.

3.3.1.4. Costo por consumo de broca con malla propuesta

Tabla 31

Parámetros para calcular el costo de consumo de la broca con malla propuesta.

Tipo	Broca descartable	
Costo de compra	50 soles	*14.952 \$
Vida útil	100 p.p	Pies perforados
Número de taladros	37	
Avance de perforación	1.16 m	

* Tipo de cambio \$ 1 = S/ 3.344

Costo de depreciación:

$$\frac{\$}{p.p} = \frac{14.952 \$}{100 p.p} = 0.149 \frac{\$}{p.p}$$

Costo por metro perforado:

$$\frac{\$}{m} = 0.149 \frac{\$}{p.p} * \frac{1 pie}{0.3048 m} = 0.489 \frac{\$}{m}$$

Costo por disparo:

$$\frac{\$}{disparo} = 0.489 \frac{\$}{m} * 37 \frac{taladros}{disparo} * 1.16 \frac{m}{taladro} = 20.988 \frac{\$}{disparo}$$

Costo por taladro:

$$\frac{\$}{taladro} = \frac{20.987 \frac{\$}{disparo}}{37 \frac{taladros}{disparo}} = 0.567 \frac{\$}{taladro}$$

Costo por metro lineal avanzado:

$$\frac{\$}{m} = 20.567 \frac{\$}{disparo} * \frac{1 disparo}{1.16 m} = 17.730 \frac{\$}{m}$$

El costo por consumo de brocas es de 17.730 \$/m

Tabla 32

Comparación de costos por consumo de brocas con malla empírica vs malla propuesta

DESCRIPCIÓN	ANTERIOR	PROPUESTA	UNIDADES
Brocas	26.093	17.730	\$ / m
DIFERENCIA	8.363		\$ / m

El consumo de broca actual muestra una diferencia de US\$ 8.363 con respecto al costo antes de la mejora.

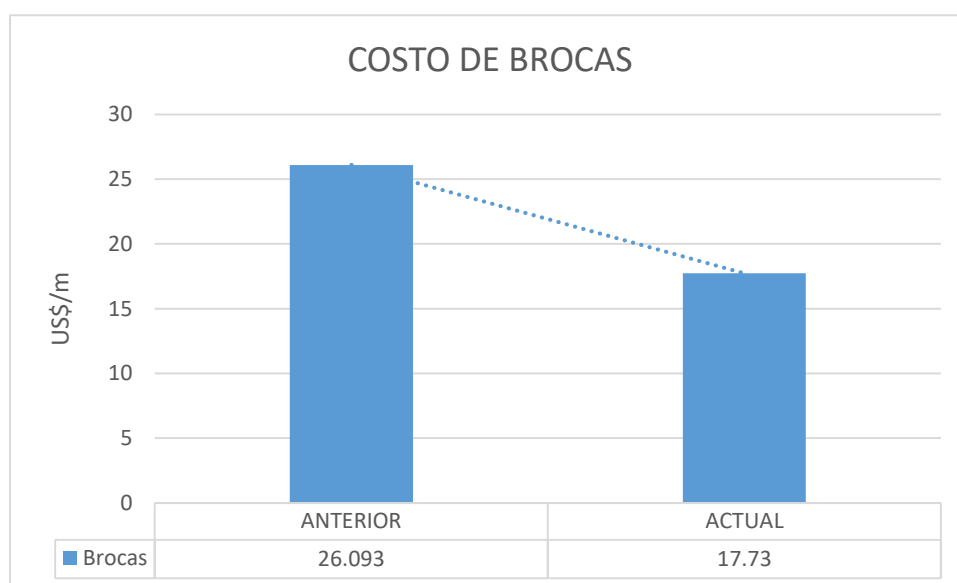


Gráfico 7 En la imagen se puede apreciar la reducción del costo en el uso de máquina de perforación, la malla propuesta tiene una reducción de US\$ 8.363 por metro lineal avanzado. Lo que significa una reducción de 31%.

Tabla 33

Resumen de costos de perforación con la malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	USD \$/ DISPARO	USD \$/ METRO
Aire comprimido	61.976	53.427
Barreno 4"	1.845	1.591
Jack Leg	3.562	3.071
Broca	20.988	17.730
TOTAL (\$)	88.371	75.819

Para efecto del cálculo de la mejora en la perforación se han medido estos Ítem de acuerdo a la bibliografía revisada.

3.3.2. Costos de voladura con la malla propuesta

Tabla 34

Distribución del consumo de explosivo con la nueva malla de perforación propuesta.

DESCRPCIÓN	DENSIDA D DE CARGA (Kg/m)	MASA DE EXPLOSI VO (kg/Taldro)	N° DE TALADR OS	MASA TOTAL EXPLOSI VO(Kg)	SEMEXA 65 (Unid)	PESO DE SEMEX A 65% (Kg)	NITRAT O DE AMONI O (Unid)	PESO DEL NITRAT O DE AMONI O (kg)	NITRAT O DE AMONI O (Und)	PESO TOTAL DE EXPLOSI VO (Kg)
ARRANQUE	0.548	0.436	4	1.744	8	0.648	2	1.048	8	1.696
CUADRANTE 1	0.493	0.392	4	1.568	4	0.324	3	1.568	12	1.892
CUADRANTE 2	0.429	0.341	4	1.364	4	0.324	3	1.364	10	1.688
CUADRANTE 3	0.444	0.353	4	1.412	4	0.324	3	1.412	11	1.736
CUADRANTE 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ZAPATERA	0.603	0.479	5	2.395	5	0.405	4	2.395	18	2.800
CUADRADOR ES (CAJA)	0.483	0.384	6	2.304	6	0.486	3	2.304	18	2.790
CORONA	0.738	0.587	5	2.935	5	0.405	4	2.935	22	3.340
AUXILIARES DE CORONA	0.738	0.587	3	1.761	3	0.243	4	1.761	13	2.004
TIROS HUECOS			2							
TOTAL			37		39	3.159		14.787	113	17.946

En la nueva malla se pudo hacer una reducción en cuanto a la cantidad en peso del explosivo requerido en la nueva malla propuesta, se requiere un total de 17.946 Kg de explosivo.

Tabla 35

Costo de la voladura con la nueva malla de perforación propuesta

LABOR GALERÍA	MATERIALES ESPECIALES				
	Fulminante	Dinamita	Guía	Nitrato de amonio	Guía de seguridad
	(Un)	(Un)	(Un)	(Un)	(Un)
	37	39	37	113	2
COSTO UNITARIO (S/)	1.1	1.7	1.2	0.2	0.24
TOTAL (S/)	40.700	66.300	44.400	22.600	0.480
TOTAL (S/)			174.480		
TOTAL \$			*52.177		

En la tabla se puede apreciar el costo total de insumos o materiales especiales requeridos por disparo. *Tipo de cambio 1\$ = S/3.344.

Tabla 36

ITEM	DISPAROS		AVANCE	AVANCE	AVANCE	EFICIENCIA A CAMPO (%)
	AVANCE	TOTAL	TEORICO (m)	PROGRAMADO (95%)	REAL CAMPO (m)	
1	1	1	1.22	1.159	1.16	95%

Eficiencia de la voladura de campo con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura.

La tabla nos detalla la eficiencia obtenida en campo con los parámetros actuales empleados por la contrata JA en el proceso de voladura en la galería.

Tabla 37

Tabla de volumen removido por disparo con la nueva malla propuesta de perforación y voladura.

DISPARO	AVANCE REAL	AREA m^2	VOLUMEN m^3
1	1.16	5	5.8

Se presentan los volúmenes removidos en el proceso de la voladura de avance en la galería de la contrata JA.

Como siguiente punto, calcularemos el volumen y toneladas de material removido, el factor de potencia, factor de carga lineal y el factor de carga y eficiencias.

Volumen

$$vol = area\ de\ seccion * avance\ efectivo$$

$$vol = (2.00 * 2.50) * 1.16$$

$$vol = 5.8\ m^3$$

Toneladas

$$ton = volumen * \rho$$

$$ton = 5.8 * 2.51$$

$$ton = 14.56\ ton$$

Factor de carga

$$FC = \frac{kg\ de\ explosivo\ total}{volumen\ roto}$$

$$FC = \frac{17.946}{5.8}$$

$$FC = 3.09\ kg/m^3$$

Factor de potencia

$$FP = \frac{kg\ de\ explosivo\ total}{toneladas\ rotas}$$

$$FP = \frac{17.946}{14.56}$$

$$FP = 1.23\ kg/tn$$

Factor de carga lineal

$$FCL = \frac{kg\ de\ explosivo\ total}{metro\ lineal}$$

$$FCL = \frac{17.946}{1.16}$$

$$FCL = 15.47\ kg/m$$

Eficiencia de la voladura

$$Eficiencia = \frac{avance\ efectivo}{longitud\ de\ taladro} * 100$$

$$Eficiencia = \frac{1.16}{1.22} * 100$$

$$Eficiencia = 95 \%$$

Tabla 38

Resultados de la perforación y voladura con malla propuesta.

RESULTADOS DE LA MALLA PROPUESTA			
Labor	Galería JA	N° Taladros producción	35
Volumen	5.8 m ³	Taladros Alivio	2
Toneladas rotas	14.56 ton	Avance lineal	1.16 m
Factor carga	3.09 kg/m ³	Avance perforado	1.16 m
Factor potencia	1.23 kg/tn	Eficiencia voladura	95 %
FC lineal	15.47 kg/m	Eficiencia perforación	95%

Tabla de resumen de perforación y voladura con la malla propuesta.

Tabla 39

Costos de perforación y voladura con la nueva malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	\$/DISPARO	\$/METRO
PERFORACIÓN	88.371	75.819
VOLADURA	52.177	45.136
TOTAL (\$)	140.548	120.955

Tabla resumen de los costos propuestos en la nueva malla.

Tabla 40

Tabla de comparación de carga explosiva y numero de taladros de la malla empírica vs malla propuesta

DESCRPCIÓN	N° TALADROS MALLA EMPÍRICA	CONSUMO	N° TALADROS MALLA PROPUESTA	CONSUMO
		TOTAL DE EXPLOSIVO POR DISPARO MALLA EMPÍRICA (Kg)		TOTAL DE EXPLOSIVO POR DISPARO MALLA PROPUESTA (Kg)
ARRANQUE	4	2.220	4	1.696
CUADRANTE 1	4	1.896	4	1.892
CUADRANTE 2	4	1.896	4	1.688
CUADRANTE 3	4	1.896	4	1.736
CUADRANTE 4	5	2.370	-	-
ZAPATERA	5	2.370	5	2.800
CUADRADORES (CAJA)	8	3.792	6	2.790
CORONA	5	2.775	5	3.340
AUXILIARES DE CORONA	5	2.370	3	2.004
TIROS HUECOS	2		2	
TOTAL	46	21.585	37	17.946

En la tabla se puede ver que la diferencia de carga explosiva entre las mallas es de 3.639 kg, esto implica una disminución del 17%.

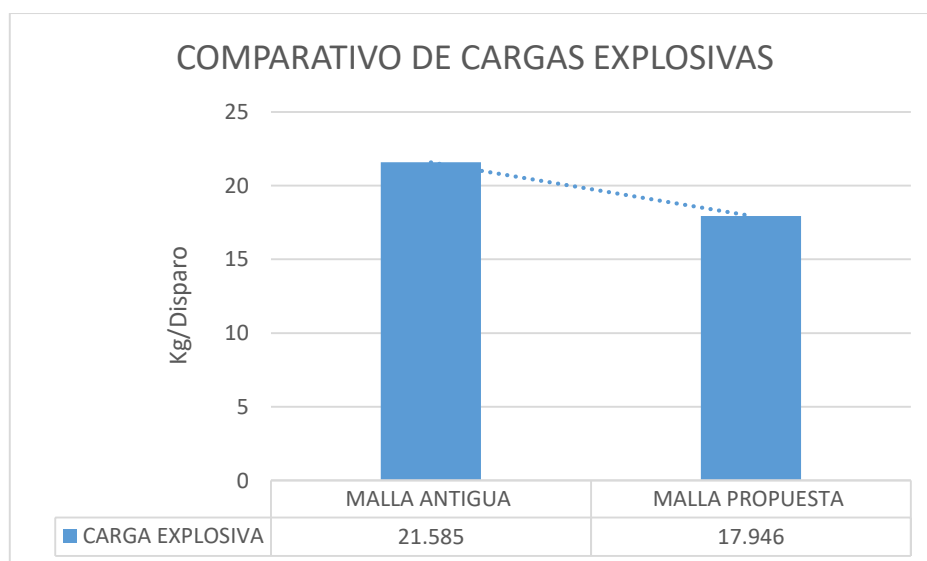


Gráfico 8 En la imagen se puede apreciar que hay una variación en el requerimiento de carga explosiva por disparo entre ambas mallas, la diferencia es de 3.639 Kg/disparo, la cual en términos estadísticos significa que hay una reducción de 17%.

3.3.2.1. Costo total de voladura por disparo y metro lineal avanzado.

Tabla 41

Resumen de costos en voladura (\$/disparo y \$/m) de malla empírica vs malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$/disparo)	COSTO (\$/m)
MALLA EMPÍRICA	65.963	65.963
MALLA PROPUESTA	52.177	45.136
DIFERENCIA (\$)	13.786	20.827

Tabla comparativa de los costos por disparo y costo por metro de avance.

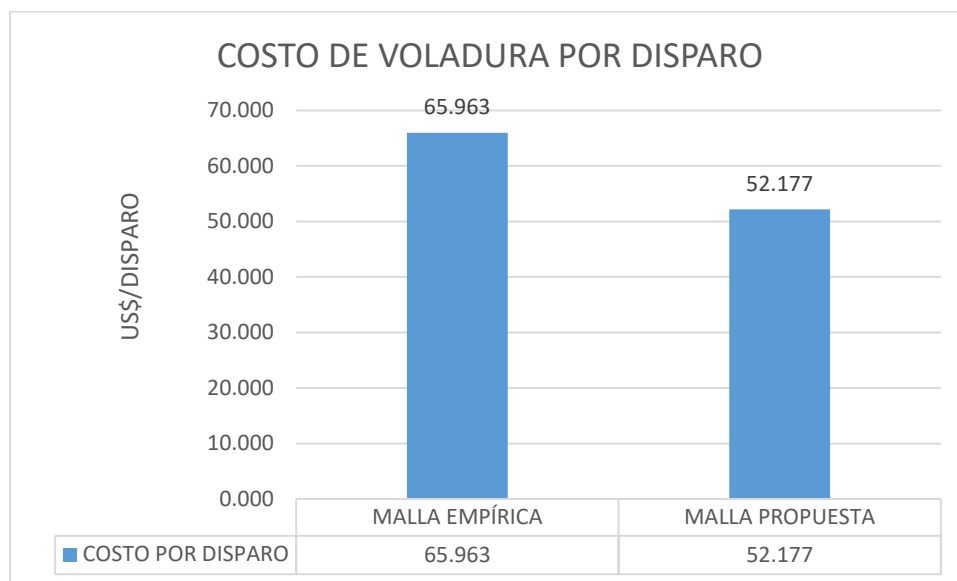


Gráfico 9 en este grafico se puede observar la variación del costo de la voladura por disparo, teniendo una diferencia de 13.786 \$/disparo, en términos estadísticos representa una reducción del el 21%.

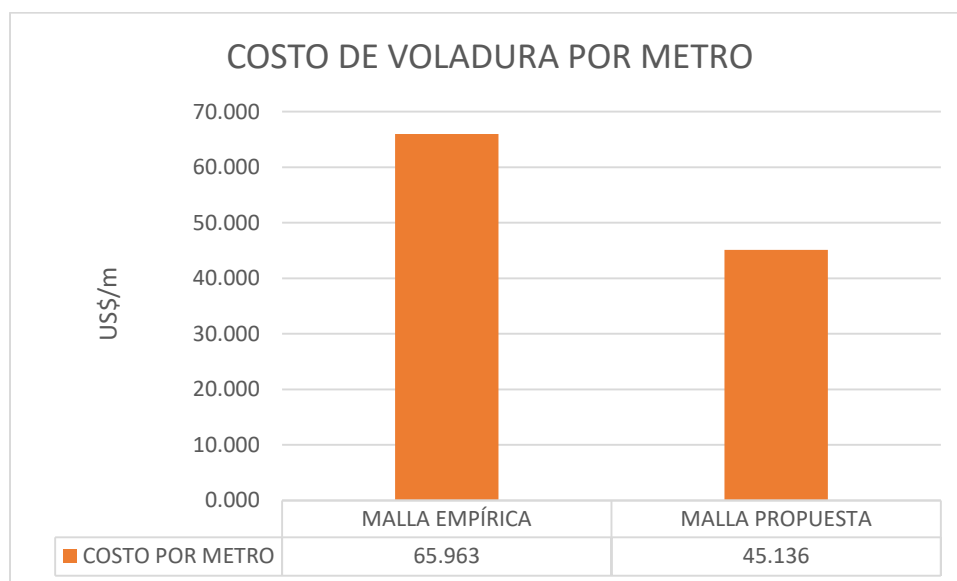


Gráfico 10 En este grafico se puede observar la variación del costo de la voladura por metro lineal avanzado en la malla empírica es 1m y en la malla propuesta de 1.156 m, teniendo una diferencia de 20.827 \$/metro, en términos estadísticos representa una reducción del el 32%.

3.3.3. Costo total de perforación por disparo y metro lineal avanzado.

Tabla 42

Resumen del costo de la perforación (\$/disparo y \$/m) de malla empírica vs malla propuesta.

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$/disparo)	COSTO (\$/m)
MALLA EMPÍRICA	109.868	109.868
MALLA PROPUESTA	88.371	75.819
DIFERENCIA	21.497	34.049

En la tabla se puede apreciar la diferencia de costos entre las dos mallas, tienen una diferencia de 21.497 US\$/disparo y 34.049 US\$/m.

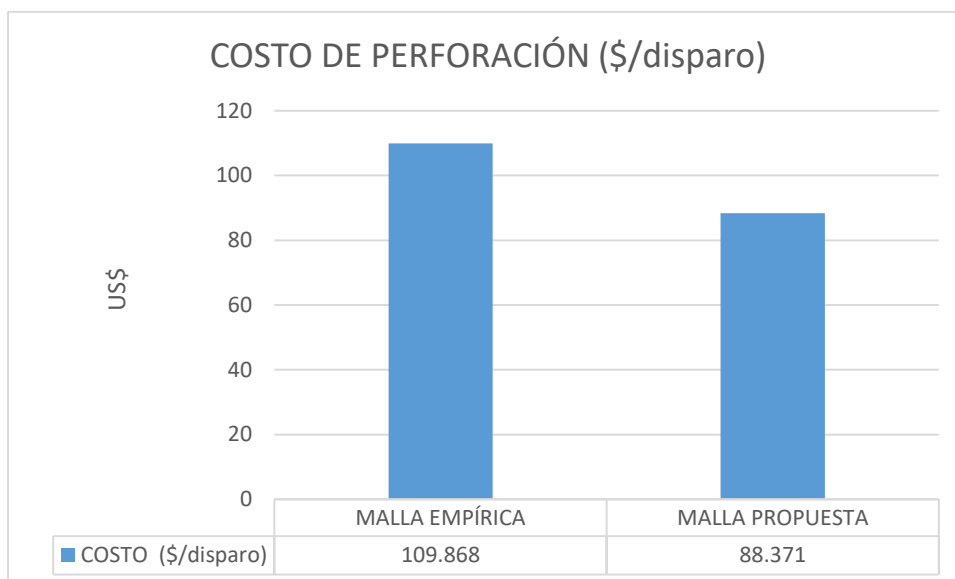


Gráfico 11 El costo de perforación por disparo se reduce en 21.497 \$/disparo y en términos estadísticos se redujo un 20 %.

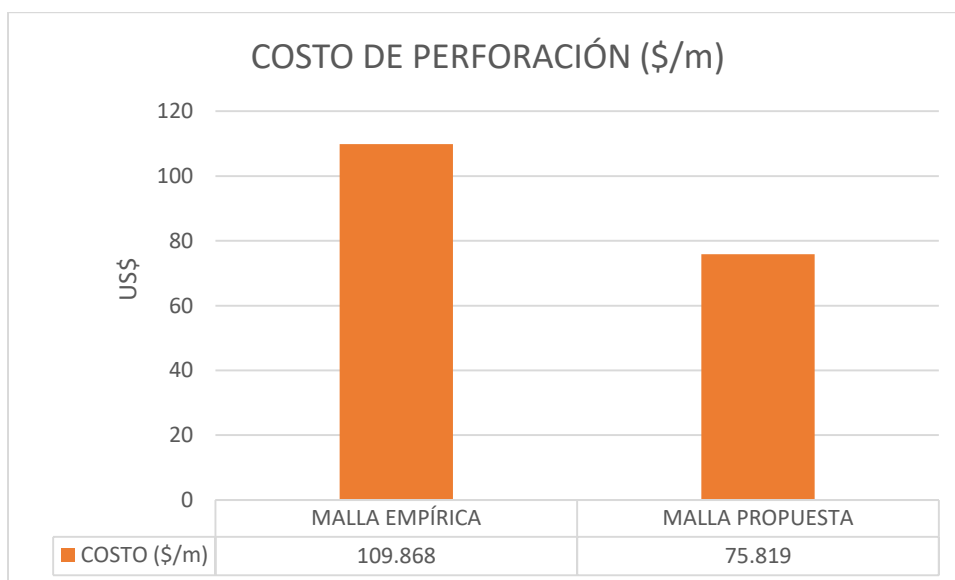


Gráfico 12 El costo de perforación por metro lineal de avance se reduce 34.049 \$/m y en términos estadísticos se redujo un 31%.

3.4. Determinación de la reducción de costos operativos de perforación y voladura.

Tabla 43

Costo total de perforación y voladura por disparo (\$/disparo)

DESCRIPCIÓN	MALLA EMPÍRICA	MALLA PROPUESTA
PERFORACIÓN	109.868	88.371
VOLADURA	65.963	52.177
TOTAL(\$/disparo)	175.831	140.548

Tabla resumen de los costos totales de perforación y voladura por disparo.

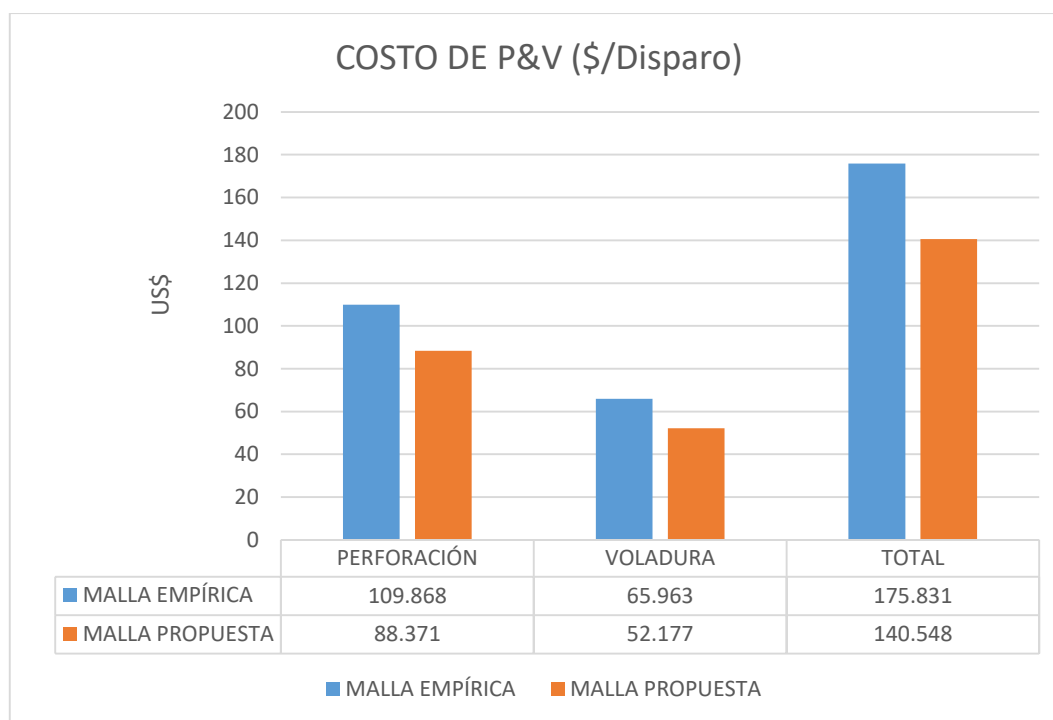


Gráfico 13 El costo total de perforación y voladura se ha reducido en 35.28 \$/disparo y estadísticamente la reducción es de 20%.

Tabla 44

Costo total de perforación y voladura por metro lineal de avance (\$/m)

DESCRIPCIÓN	MALLA EMPÍRICA	MALLA PROPUESTA
PERFORACIÓN	109.868	75.819
VOLADURA	65.963	45.136
TOTAL(\$/m)	175.831	120.955

Tabla resumen de los costos de perforación y voladura por metro de avance.

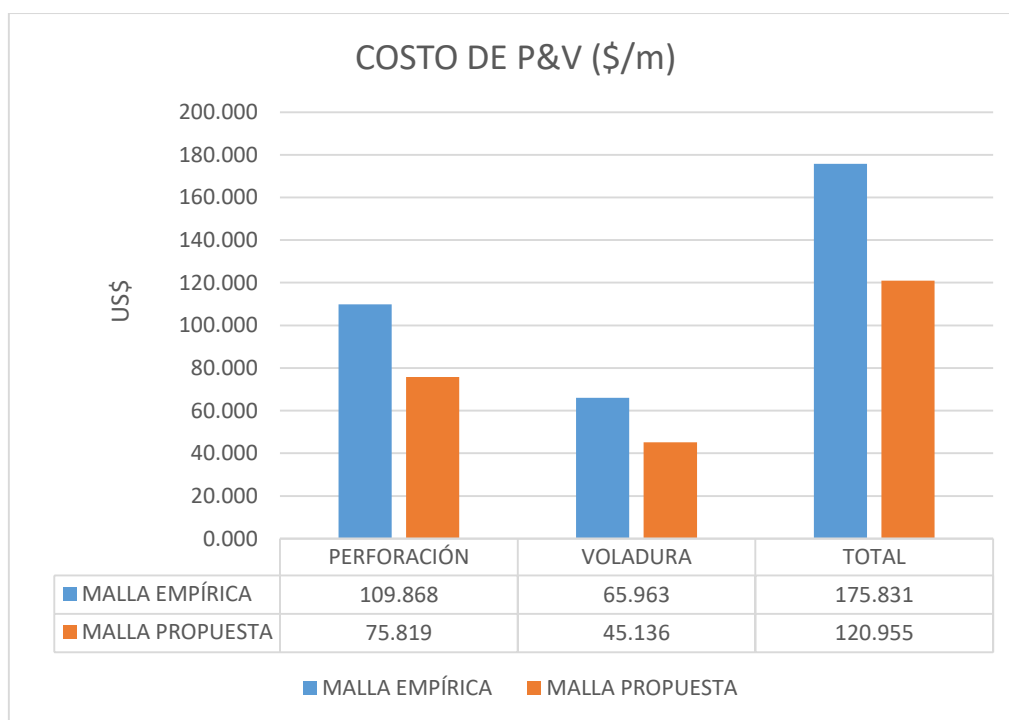


Gráfico 14 El costo total de perforación y voladura por metro de avance se redujo 54.876 \$/m, y en términos estadísticos se reduce un 31%.

3.4.1. Análisis de los costos totales de perforación y voladura a largo plazo

Tabla 45

Flujo del ahorro de costos con respecto a la perforación y voladura.

DESCRIPCIÓN	TOTAL(\$/disparo)	3	6	9	12	15	18
		MESES	MESES	MESES	MESES	MESES	MESES
MALLA EMPÍRICA	175.831	2637.465	5274.93	7912.395	10549.86	13187.325	15824.79
MALLA PROPUESTA	140.548	2108.22	4216.44	6324.66	8432.88	10541.1	12649.32
AHORRO DE COSTOS	35.283	529.245	1058.49	1587.735	2116.98	2646.225	3175.47

En la tabla se puede ver la cantidad de dinero que se puede ahorrar al implementar nuestra malla, para lo cual se consideró 5 disparos hechos en la galería durante un mes normal. Se usó un tipo de cambio de US\$ 3.344.

Tabla 46

Resumen del ahorro proyectado.

DESCRIPCIÓN	TOTAL(\$/disparo)	3	6	9	12	15	18
		MESES	MESES	MESES	MESES	MESES	MESES
AHORRO	35.283	529.245	1058.49	1587.735	2116.98	2646.225	3175.47

En la tabla se ve el progreso del ahorro de costos al implementarse la malla propuesta hasta en un tiempo de 18 meses. Se usó un tipo de cambio de US\$ 3.344.

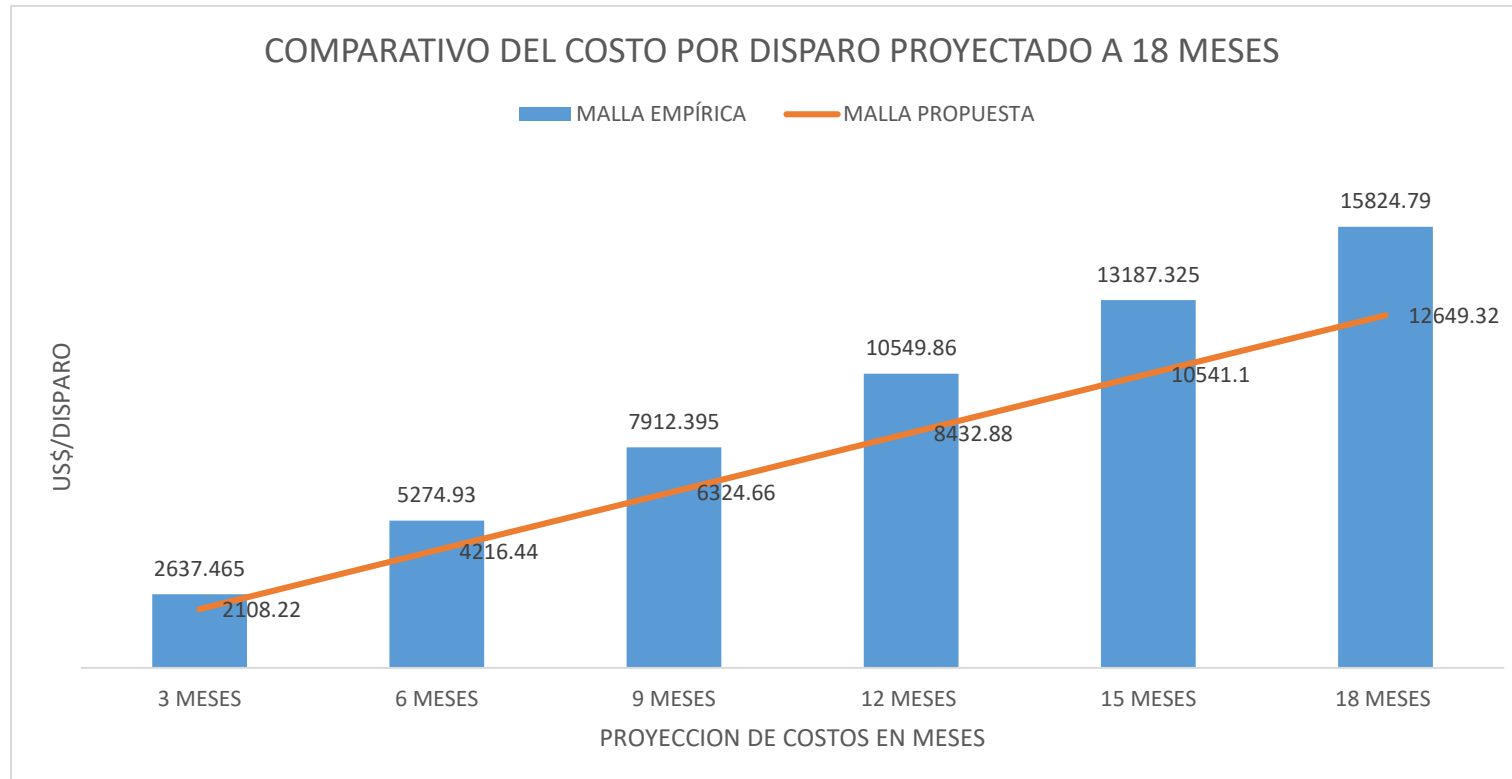


Gráfico 15 En el gráfico se puede apreciar las variaciones entre los costos en un periodo de 18 meses, estos costos incluyen la perforación y voladura. Para esta proyección se ha promediado el número de disparos al mes, la contrata realiza 5 disparos al mes. Se usó un tipo de cambio de US\$ 3.344.

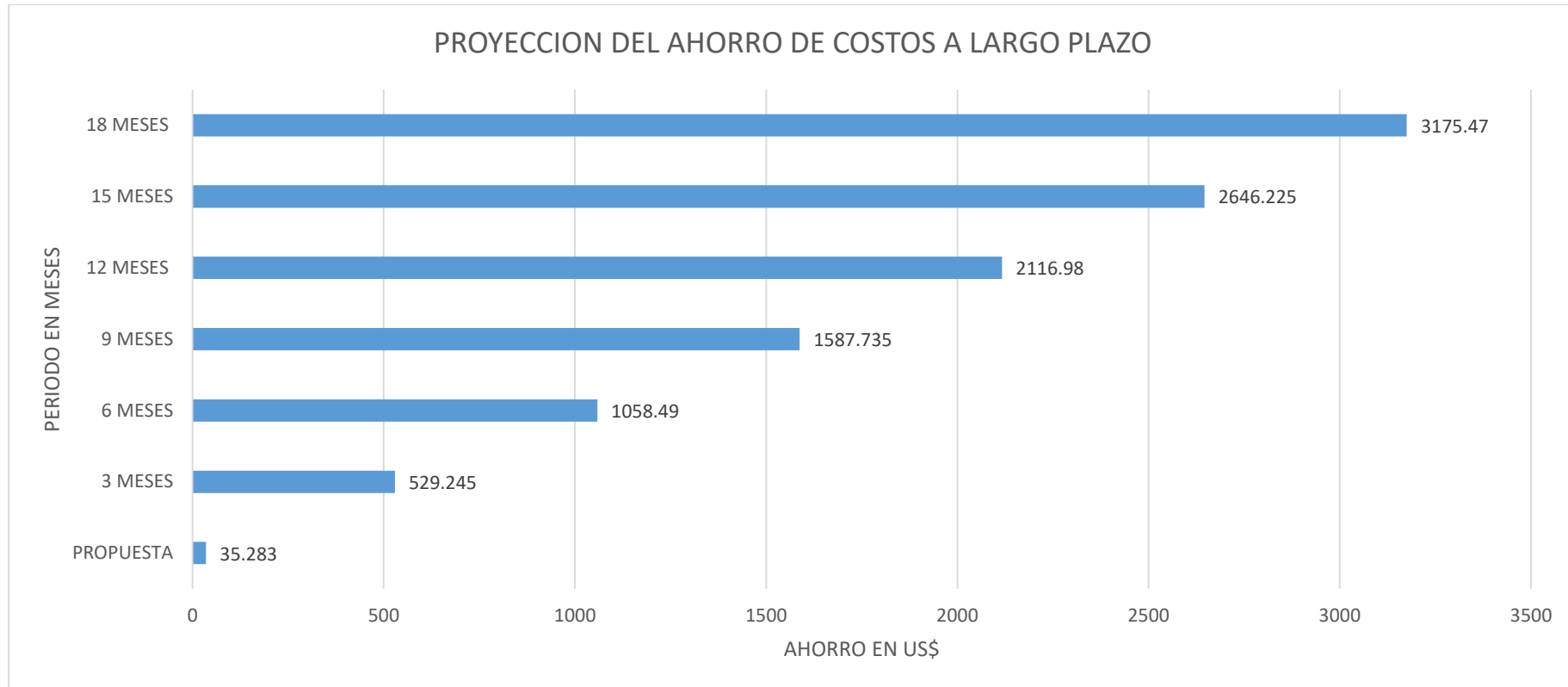


Gráfico 16 En la imagen se puede apreciar el ahorro a largo plazo que la contrata JA puede alcanzar al aplicar nuestra propuesta de malla. Para lo cual se consideró el mismo precio de los insumos y un cambio de US\$ 3.344.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Luego de realizar los cálculos necesarios con los métodos de Pearse y Holmberg, los resultados del diseño de la nueva malla para la Galería de la contrata JA, hemos podido observar una mejora en cuanto a la reducción de costos tanto en explosivo para la voladura como la reducción de los costos en perforación que incluyen desgaste de aceros y costo de aire comprimido, ya que, esta es una de las actividades que más costo e implicancia tiene.

Se logró reducir los costos operativos de las actividades unitarias de perforación y voladura en los frentes de preparación con un nuevo diseño de malla de perforación, ayudándonos de modelos matemáticos de Pearse y Holmberg, por lo que, decimos que se prueba la hipótesis. Además, la correcta distribución de taladros fue clave importante en reducir el número de estos, en un inicio se tuvo 46 taladros perforados, distribuidos de forma empírica, nuestra propuesta los disminuye a 37 taladros perforados, reduciendo las perforaciones por disparo en un 19.5%, Villacrés (2016), de igual manera realizó una propuesta de un diseño de voladura lo cual tuvo impactos importantes en la operación, reduciendo las perforaciones por disparo en un 17%, logrando buenos resultados en la disminución de tiempos de trabajo, de igual manera en nuestra investigación la reducción de taladros perforados disminuirá tiempos de trabajo, como es en el costo de aire comprimido de 77.055 \$/disparo a 61.976 \$/disparo, y en desgaste de aceros, reduciendo el costo total de perforación de 109.868 \$/disparo a 75.820 \$/disparo, para el diseño del cálculo de la malla, Cayllahua (2018), en su estudio considera muy importante el macizo rocoso, por lo que en nuestro estudio se considera datos geomecánicos ya que nos encontramos en una roca competente con un RMR de 77 y así tener los burden adecuado, ya en los modelos matemáticos se incluyen estos parámetros ya que son recomendados por varios autores.

La voladura es un actividad unitaria muy importe ya que de ella dependerá mucho la producción y avance lineal efectuado por disparo, por lo que requiere de un buen diseño y distribución de la malla de perforación, como también la cantidad de explosivo a utilizar, Barrios (2019), nos menciona que la malla de perforación propuesta en su trabajo de diseño de una rampa, logró reducir el costo total de 225.06 US\$/m a 197.47 US\$/m, también se mejoró la eficiencia de la voladura en 93% disminuyendo consigo el porcentaje de sobre rotura. Carrasco (2015) asegura una eficiencia del 92% de esta y con un avance de 3.6 m promedio por disparo; también se pudo controlar y reducir la sobre excavación en un 7.92% por disparo lo que equivale a 9.6 Tn rotas en promedio por dispar y su nueva carga explosiva es de 1.73 kg explosivo/ m^3 lo que afianza una buena voladura. En nuestro trabajo pudimos calcular el nuevo factor de carga, pasando de 4.32 kg/ m^3 a 3.09 kg/ m^3 y también aseguramos un avance de 95% en la efectividad de la voladura, mejorando el avance lineal de 1m a 1.16 m y el volumen removido de 5 m^3 a 5.8 m^3 .

Cayllahua (2018), nos dice que utilizo parámetros de clasificación geomecánica para calcular el factor de carga, siendo estos el GSI y RQD, de igual manera Loza (2013), en su investigación considero dentro de las variables más importantes para desarrollar el modelo son las características del macizo rocoso, en nuestro trabajo se consideraron esos parámetros siendo un GSI de 72 y RQD 72.79% para una calidad de roca buena y reduciendo el factor de carga y potencia, para obtener mejores resultados al momento de realizar la perforación y voladura.

4.2. Conclusiones

La presente tesis tuvo como objetivo principal evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir los costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca. Para ello, se mantendrá la sección de la galería (2.00 m x 2.50 m), pero con un incremento en el avance lineal de 1m a 1.16 m y un volumen de material de $5m^3$ a $5.8 m^3$, lo que equivale que esta nueva malla propuesta de perforación y voladura se llegue a tener una eficiencia del 95%, además, de la reducción de taladros perforados en el frente de la galería.

Se realizó un análisis general de la situación actual de la perforación y voladura en la galería de la contrata JA, en la cual se observaron tacos de 10, 15, 20 cm en un periodo las voladuras realizadas durante las fechas en estudio. Las deficiencias son a causa de no tener un buen diseño de la malla de perforación que ayude con la distribución de taladros. Al ser empírica, no existen las especificaciones técnicas para la perforación; por lo que, esto ha llevado al incremento de los costos operativos, costo de voladura por disparo 65.963 \$/disparo, costo de perforación por disparo 109.868 \$/disparo y el costo total de perforación y voladura es de 175.831 \$/disparo.

Se diseñó una nueva malla de perforación con el apoyo de los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse para la galería de la contrata JA, con este nuevo diseño de la malla de perforación se tiene que realizar 37 talaros/disparo, teniendo la siguiente distribución: 2 taladros de alivio, 4 arranque, 4 cuadrante I, 4 cuadrante II, 4 cuadrante III, 5 zapatera, 6 cuadradores (caja), 5 corona, 3 auxiliares de corona y sumando un total de 35 taladros cargados y 2 tiros huecos o taladros de alivio.

Se logro evaluar los resultados de perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla, teniendo como resultado en la perforación una reducción en el número de taladros de 46 taladros/disparo a 37 taladros/disparo, reduciendo en un 19.5 %, al reducir la cantidad de taladros se reduce el costo de perforación de 109.868 \$/disparo a 88.371 \$/disparo, reduciendo un 20%. En la voladura con el nuevo diseño de la malla se logra una reducción de explosivo de 21.585 kg/disparo a 17.946 kg/disparo, reduciendo en un 17%, al reducir la masa explosiva se reduce el costo de voladura de 65.963 \$/disparo a 52.177 \$/disparo, reduciendo un 21%.

Se determinó la reducción de costos operativos en la perforación y voladura, teniendo los costos totales de estas actividades unitarias con la malla empírica 175.831\$/disparo y con la malla propuesta 140.548 \$/disparo, esta diferencia es la reducción 35.283 \$/disparo, significando un 20% en la reducción de los costos operativos de perforación y voladura.

REFERENCIAS

- Barrios, G. (2019). *Optimización del diseño de mallas de perforación y voladura de frentes aplicando el modelo matemático de Roger Holmberg*. (Trabajo de suficiencia profesional). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Calderón, M. (2015). *Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (Unidad Minera Macdesa)*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Carrasco, P. (2015). *Aplicación del método Holmberg para optimizar la malla de perforación y voladura en la Unidad Parcoy – CIA. Consorcio Minero Horizonte S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú.
- Cayllahua, P. (2018). *Evaluación de costos operativos en galerías de exploración para optimizar la perforación y voladura en la Unidad Minera Las Águilas – CIEMSA*. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Chavez, Y. (2018). *Mejora de la granulometría mediante el diseño de malla de perforación y voladura aplicando el modelo de Holmberg en la Galería 370 de la Zona Coturcan en la Mina Huancapeti – Año 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.
- Cháhuares, F. (2012). *Nuevo diseño de la malla para mejorar la perforación y voladura en proyectos de explotación y desarrollo Mina el Cofre*. (Tesis de pregrado). Universidad del Altiplano, Puno, Perú.
- Chipana, R. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis – Corporación Minera ANANEA S.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Fernández, J. (2016). *Optimización de avance lineal, reemplazando las perforadoras Jck Leg por jumbo hidráulico en el proceso de perforación y voladura de la GLN1 y CRNE en*

- Mina Consuelo de la Empresa Especializada New Horus S.A.A. – Poderosa.* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Flores, J. (2010). *Generación de la malla de perforación en el diseño de la voladura en CIA Alpamarca, utilizando los modelos matemáticos para el cálculo del Burden.* Compañía Minera Alpamarca S.A.C., Junín, Perú.
- Garrido, A. (2007). *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal Mina el Teniente.* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Lara, O. (2013). *Diseño de la malla de perforación para optimizar la voladura en la Unidad Carahuacra de la Compañía Minera Volcan S.A.A.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Loza, R. (2013). *Aplicación del método Holmberg para el mejoramiento de la malla de voladura en la empresa minera aurífera Retamas S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- Mallma, I. (2013). *Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristobal de Minera Bateas S.A.C.* (Tesis de pregrado). Universidad del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Morales, K. (2019). *Reducción de costos unitarios mediante la optimización de la malla de perforación y voladura en el inclinado – 180 Valeria Norte de la Empresa Minera Vicus S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad del centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Otrilla, G. (2018). *Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la compañía Minera Santa Luisa S.A. – Unidad Pallca.* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Saavedra, A. (2019, diciembre, 01). Geotecnia en minería: la importancia del estudio del terreno. *Construcción, minería y energía.* Recuperado de

<https://www.construccionminera.cl/geotecnia-en-mineria-la-importancia-del-estudio-del-terreno/#.XrLgMJ5KjiU>

Sanchez, Y. (2012). *Optimización en los procesos de perforación y voladura en el avance de rampas en la Mina Bethzabeth*. (Tesis de pregrado). Universidad Central de Ecuador, Quito, Ecuador.

Vidal, C. & Correa, I. (2017). *Modelo matemático de Holmberg para mejorar la perforación y voladura en la zona alta de la Compañía Minera Lincuna S.A. – 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú.

Villacrés, R. (2016). *Optimización de costos al sistema de explotación subterránea en la veta Kathy de la empresa PRODUMIN S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Centra del Ecuador, Quito, Ecuador.

Zúñiga, P. (2015). *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de Compañía Minera Cerro Negro*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

ANEXOS

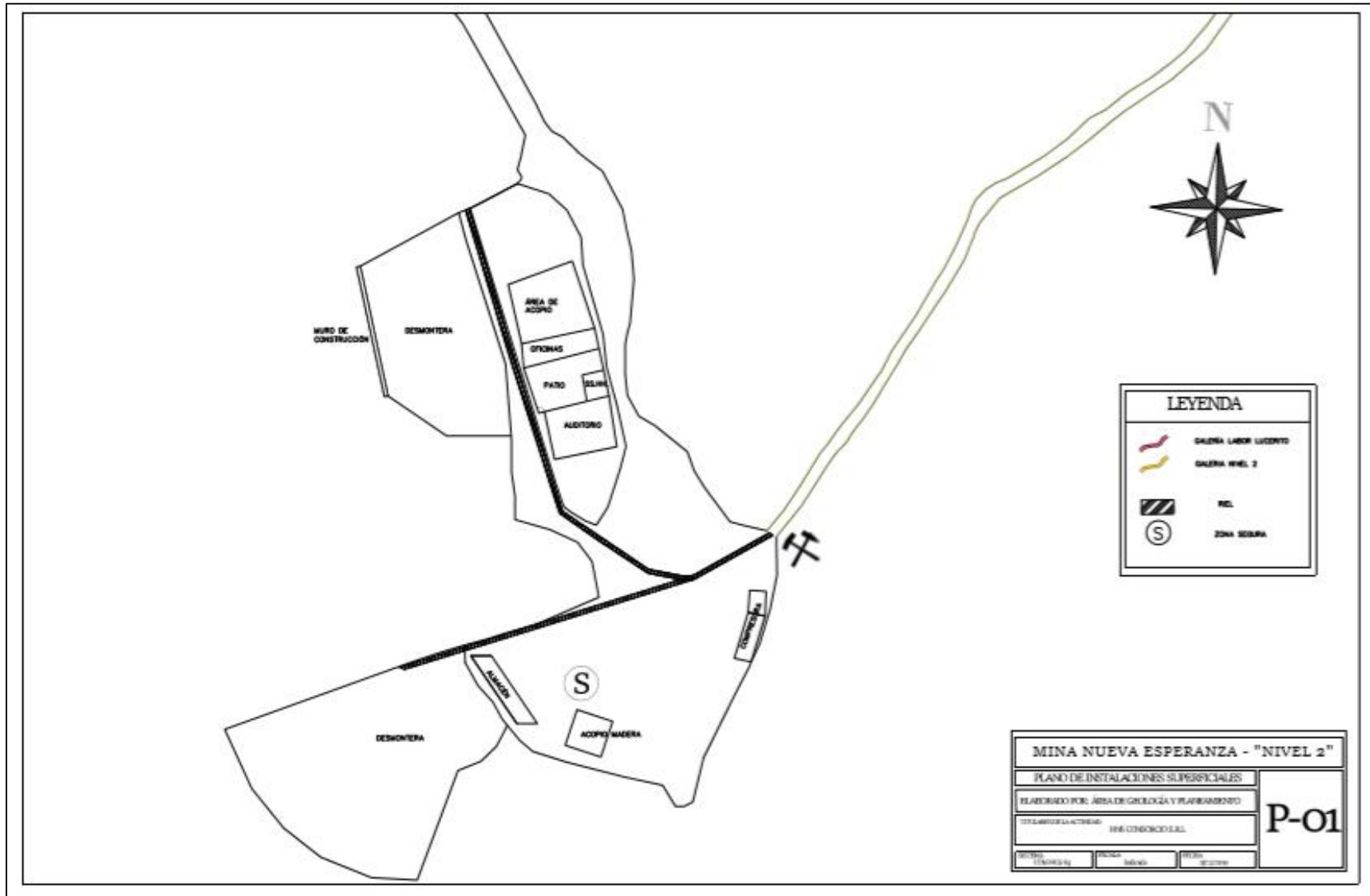
Anexo 1

Tabla 47

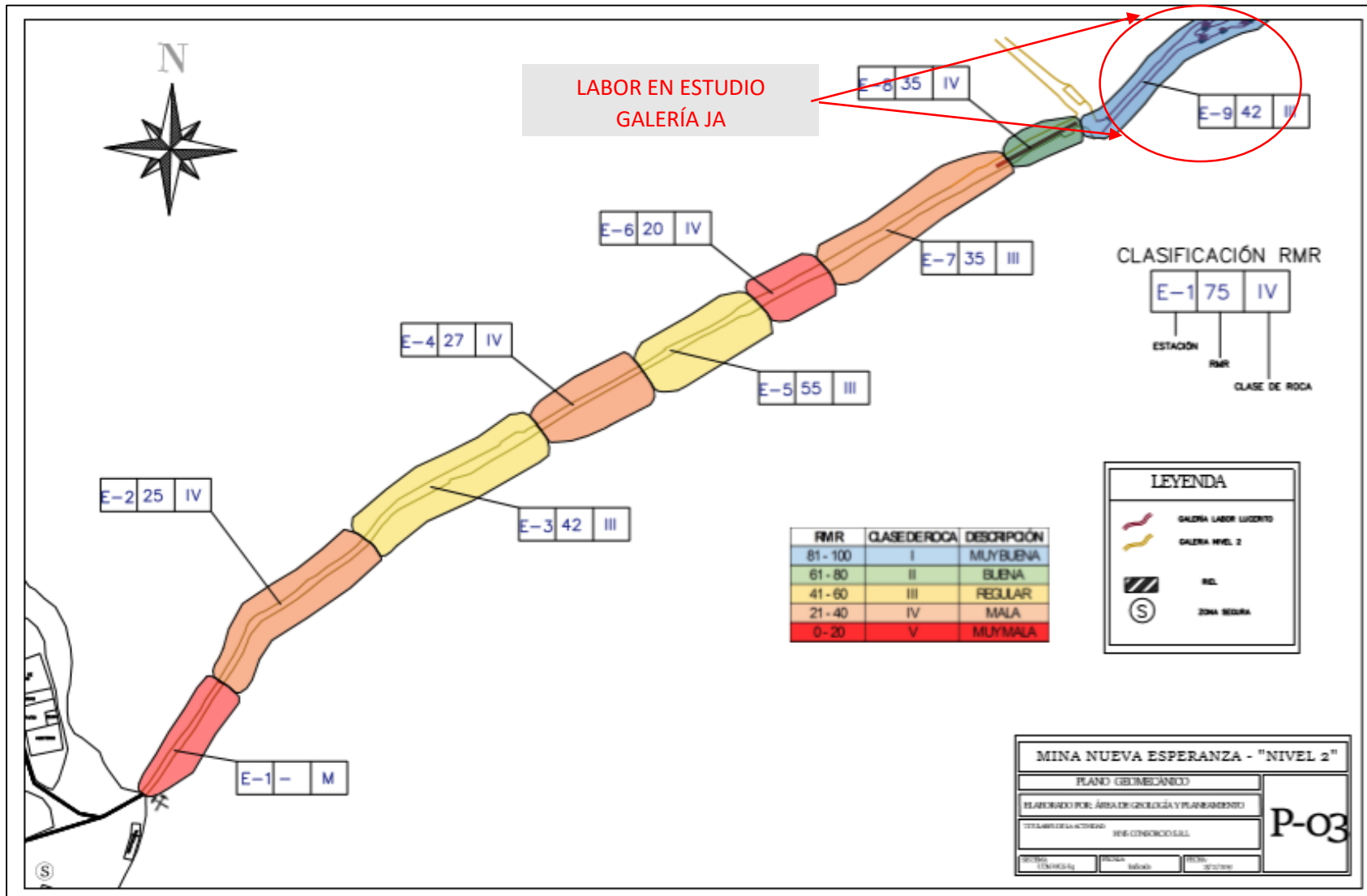
Matriz de consistencia

PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema principal</p> <p>¿Cómo mejorar las actividades unitarias de perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca - 2020?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir costos operativos de una mina subterránea en Cajamarca – 2020.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>Analizar la situación actual de la perforación y voladura en la galería de la contrata JA.</p> <p>Diseñar una nueva malla de perforación con el apoyo de los modelos matemáticos de Holmberg y Pearse para la galería de la contrata JA.</p> <p>Evaluar los resultados de perforación y voladura con el nuevo diseño de la malla de perforación para la galería de la contrata JA.</p> <p>Determinar la reducción de costos operativos en la perforación y voladura en la galería de la contrata JA.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>Será posible evaluar técnicamente la perforación y voladura para reducir los costos operativos no menor a 20% de una mina subterránea en Cajamarca – 2020.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>Al analizar la situación actual de la perforación y voladura se determinarán los costos operativos en la galería de la contrata JA.</p> <p>Al diseñar una nueva malla de perforación y voladura de una mina subterránea en Cajamarca -2020, se optimizará el número de taladros en el frente de la galería de la contrata JA.</p> <p>Al evaluar los resultados de perforación y voladura con la nueva malla de perforación en la galería de la contrata JA, se optimizará los costos operativos en estas actividades unitarias.</p> <p>La reducción de costos operativos de perforación y voladura en la galería de la contrata JA, será menor del 20% con el nuevo diseño de la malla de perforación respecto al diseño anterior.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Diseño de una nueva malla de perforación y voladura.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>Reducción de costos operativos en perforación y voladura.</p>	<p>Método de investigación: Cuantitativa.</p> <p>Tipo de Investigación: Aplicada.</p> <p>Población</p> <p>Labores de preparación de una mina subterránea como son sub niveles, chimeneas, galería, piques, cortadas.</p> <p>Muestra</p> <p>Galería de la contrata J.A.</p> <p>Técnicas Directas:</p> <p>Observación realizada por parte de los investigadores. Recolección de fotografías de la zona de estudio.</p> <p>Técnicas Indirectas:</p> <p>Información recopilada de diferentes fuentes.</p> <p>Instrumentos</p> <p>Softwares y herramientas técnicas.</p> <p>Análisis de datos:</p> <p>Se utilizará los conocimientos de estadística paramétrica, elaboración de tablas, gráficos, planos, mapas, así como softwares.</p>

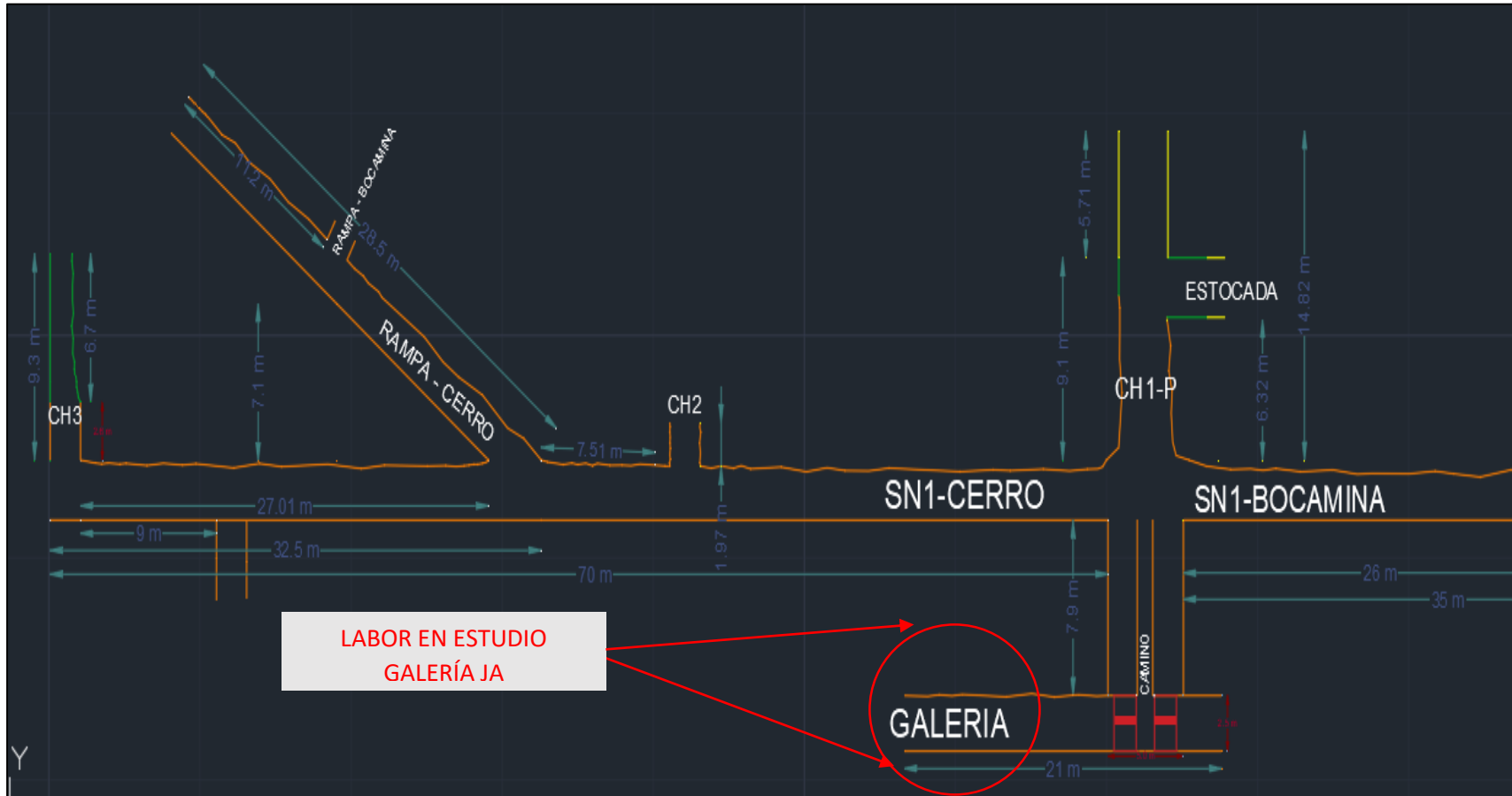
Anexo 2: Plano de instalaciones superficiales



Anexo 3: Plano geomecánico



Anexo 4: Plano vista de perfil de la contrata



Anexo 5: Deficiencias en la voladura de la contrata JA



Tiro soplado



Tiro anillado



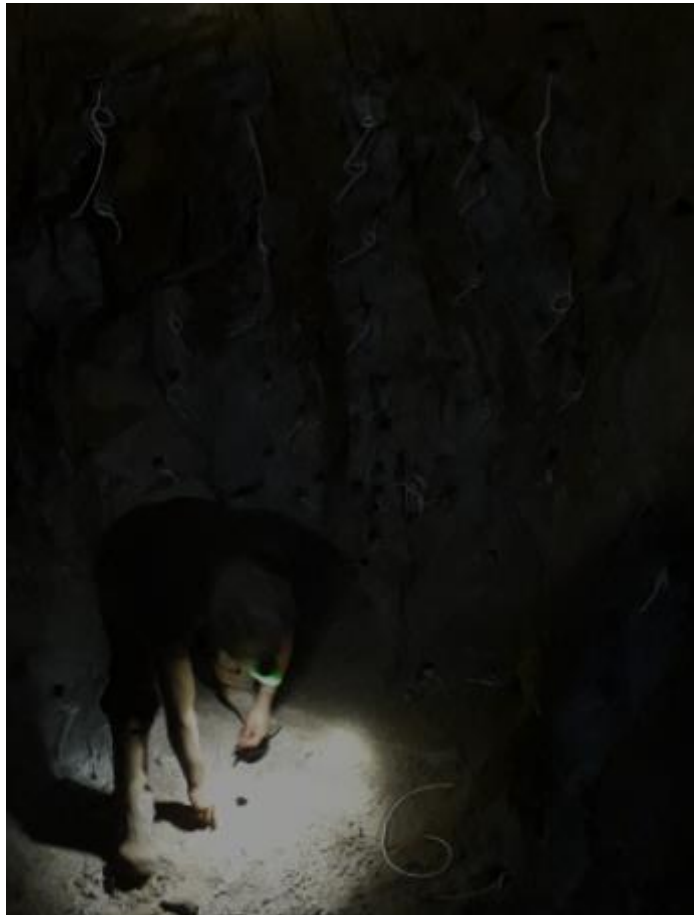
Tiros cortados



Taco de 20 – 15 cm

Anexo 6: Malla de perforación y voladura en la Galería de contrata JA

Disparo del 17 de noviembre de



Malla empírica con 46 taladros perforados



Arranque de la malla de perforación empírica

Disparo del 27 de noviembre del 2019



Disparo del 08 de enero de 2020



Disparo del 20 de enero de 2020



Anexo 7: Explosivo de voladura y equipos, herramientas de perforación



El cebo o caña (dinamita, fulminante N°8 y guía de seguridad).



Nitrato de amonio en bolsa



Para el taco se utiliza cartón y partes de saco minero.

PESO DE EXPLOSIVO N.A		
N°	DESCRIBCIÓN	PESO (kg)
1	NA	0.14
2	NA	0.14
3	NA	0.12
4	NA	0.12
5	NA	0.13
6	NA	0.14
7	NA	0.12
8	NA	0.13
9	NA	0.14
10	NA	0.13
PROMEDIO		0.131



Peso promedió de la bolsita de nitrato.



Máquina perforadora YT29 y barreno de 4ft



Brocas utilizadas en la perforación de
36mm de diámetro.

Anexo 8: Fichas técnicas


www.BXSA.net

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

* Sin confinar en tubo de hojalata de 30 mm de diámetro.
** Calculadas con programa de simulación TERMODET a condiciones ideales de 1 atm.

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
SEMEXSA 65	1 1/2	12	68
SEMEXSA 65	7/8	7	308
SEMEXSA 80	1 1/8	8	164

Para otros formatos de cartuchos preguntar a un especialista BXSA.

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





 QUIAGRAL S.A.C. DEPARTAMENTO TÉCNICO	FICHA TÉCNICA NITRATO DE AMONIO		Actualizado Febrero 2015																
			Página 1 de 2																
NOMBRE COMERCIAL	NITRATO DE AMONIO																		
NOMBRE QUÍMICO	CAS [6484-52-2] Nitrato de Amonio																		
FÓRMULA QUÍMICA	NH_4NO_3																		
PUREZA	99 %																		
FORMULACIÓN	Gránulos																		
MODO DE ACCIÓN	Fuente de amonio																		
TOXICIDAD	Moderadamente tóxico por ingestión e inhalación.																		
ANTÍDOTO	No reportado.																		
COMPOSICIÓN QUÍMICA																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nitrógeno total</td> <td style="width: 20%;">(N)</td> <td style="width: 30%;">33.00</td> <td style="width: 20%;">% (p/p)</td> </tr> <tr> <td>Fósforo total</td> <td>(P₂O₅)</td> <td>3.00</td> <td>% (p/p)</td> </tr> </table>				Nitrógeno total	(N)	33.00	% (p/p)	Fósforo total	(P ₂ O ₅)	3.00	% (p/p)								
Nitrógeno total	(N)	33.00	% (p/p)																
Fósforo total	(P ₂ O ₅)	3.00	% (p/p)																
CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS DEL PRODUCTO																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Aspecto</td> <td>Gránulos</td> </tr> <tr> <td>Estado Físico</td> <td>Sólido</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Blanco</td> </tr> <tr> <td>Olor</td> <td>Inodoro</td> </tr> <tr> <td>Peso molecular</td> <td>80 g/mol</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>5.0 – 5.5 (5% solución)</td> </tr> <tr> <td>Insolubles en agua</td> <td>max. 0.01 %</td> </tr> <tr> <td>Solubilidad</td> <td>1900 g/l (a 20°C)</td> </tr> </table>				Aspecto	Gránulos	Estado Físico	Sólido	Color	Blanco	Olor	Inodoro	Peso molecular	80 g/mol	pH	5.0 – 5.5 (5% solución)	Insolubles en agua	max. 0.01 %	Solubilidad	1900 g/l (a 20°C)
Aspecto	Gránulos																		
Estado Físico	Sólido																		
Color	Blanco																		
Olor	Inodoro																		
Peso molecular	80 g/mol																		
pH	5.0 – 5.5 (5% solución)																		
Insolubles en agua	max. 0.01 %																		
Solubilidad	1900 g/l (a 20°C)																		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

NITRATO DE AMONIO

ICSC: 0216

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Sólido higroscópico, entre incoloro y blanco, en diversas formas.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol.
	PELIGROS FISICOS	RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder produciendo humos tóxicos de óxidos de nitrógeno. La sustancia es un oxidante fuerte y reacciona con materiales combustibles y reductores.	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en la sangre, dando lugar a la producción de metahemoglobina. Se recomienda vigilancia médica. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA
PROPIEDADES FISICAS	Se descompone por debajo del punto de ebullición sobre 210°C Punto de fusión: 170°C	Densidad (g/cm ³): 1.7 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 190
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua.	



NOTAS

Resulta sensible a los golpes cuando se mezcla con materiales orgánicos. Enjuagar la ropa contaminada con agua abundante (peligro de incendio). Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario realizar un tratamiento específico; así como disponer de los medios adecuados junto a las instrucciones correspondientes.
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-51S1942 o 51G02-I+II+III. Código NFPA: H 2; F 0; R 3;OX

Anexo 9: Fechas de disparo y costos de explosivo

CONSUMO MATERIAL CONTRATA "JULIO ANTICONA"										
DATOS GENERALES					MATERIAL ESPECIAL					
FECHA	TURNO	SOLICITANTE	LABOR	FUL	DIN	GUI	ANF	BRO	GS	COSTO/DIA
28/10/2019	DÍA	Mañana	Crespo		-	-	-	-	-	-
		Tarde	Crespo		-	-	-	-	-	-
	NOCHE	Noche	Delgadito		-	-	-	-	-	-
		Madrugada	Delgadito		-	-	-	-	-	-
29/10/2019	DÍA	Mañana	Crespo	GALERIA	45	50	45	135	2	S/ 215.98
		Tarde	Crespo	DES(CH1-P)	16	22	16	45	2	S/ 83.68
	NOCHE	Noche	Delgadito	SN1-B	27	31	27	70	1	S/ 129.04
		Madrugada	Delgadito	SN1-C	27	31	27	70	1	S/ 129.04
30/10/2019	DÍA	Mañana	Crespo	SN1-B	32	35	40	95	1	S/ 161.94
		Tarde	Crespo	CH1-P	35	40	35	60	1	S/ 160.74
	NOCHE	Noche	Delgadito							
		Madrugada	Delgadito	-						
31/10/2019	DÍA	Mañana	Crespo	SN1-B(DES.CH1-P)	35	40	35	100	1	S/ 168.74
		Tarde	Crespo	CH1-P	20	25	20	60	1	S/ 100.74
	NOCHE	Noche	Delgadito							
		Madrugada	Delgadito	DES(CH1-P)	20	20	20	50	1	S/ 90.24
1/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	36	41	40	105	2	S/ 178.78
		Tarde	Crespo							
	NOCHE	Noche	Delgadito	CH1-P	20	20	20	60	1	S/ 92.24
		Madrugada	Delgadito	SN1-C	31	33	31	95	1	S/ 146.64
2/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	48	45	40	120		S/ 201.30
		Tarde	Crespo	CH1-P	28	33	28	85	2	S/ 137.98
	NOCHE	Noche	Delgadito	DES	5	0	5	20	1	S/ 15.74
		Madrugada	Delgadito	SN1	27	31	27	80	1	S/ 131.04
3/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	43	48	43	120	2	S/ 204.98
		Tarde	Crespo	DES	15	15	15	10	1	S/ 62.24
	NOCHE	Noche	Delgadito							
		Madrugada	Delgadito	SN1	27	31	27	70	1	S/ 129.04
4/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	42	45	40	120	2	S/ 195.18
		Tarde	Crespo							S/ -
	NOCHE	Noche	Delgadito	DES	11	9	11	20	1	S/ 44.84
		Madrugada	Delgadito							
5/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	40	45	40	120	2	S/ 192.98
		Tarde	Crespo							
	NOCHE	Noche	Delgadito	DES	4		4			S/ 9.20
		Madrugada	Delgadito	SN1-C	32	36	32	90		S/ 152.80
6/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	CH1-P	40	45	40	120		S/ 192.50
		Tarde	Crespo							
	NOCHE	Noche	Delgadito	SN1-B	27	31	27	60	1	S/ 127.04
		Madrugada	Delgadito							
7/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	SN1-C	31	33	31	96	2	S/ 147.08
		Tarde	Crespo							
	NOCHE	Noche	Delgadito							
		Madrugada	Delgadito	SN1-C	27	31	27	80		S/ 130.80
8/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo	SN1-B	22	27	22	60	1	S/ 108.74
		Tarde	Crespo	CH1-P	15	18	15	20	1	S/ 69.34
	NOCHE	Noche	Delgadito	SN1-B	27	31	27	80	1	S/ 131.04
		Madrugada	Delgadito	SN1-C	27	31	27	80	1	S/ 131.04
9/11/2019	DÍA	Mañana	Crespo							
		Tarde	Crespo							
	NOCHE	Noche	Delgadito							
		Madrugada	Delgadito							
TOTAL										S/ 4,172.70

PRECIOS UNITARIOS	
BROCA	S/. 50.00
DINAMITA	S/. 1.70
NITRATO	S/. 0.20
GUIA	S/. 1.20
FULMINANTE	S/. 1.10
GS	S/. 0.24

CONSUMO MATERIAL CONTRATA "JULIO ANTICONA"												
DATOS GENERALES					MATERIAL ESPECIAL							
FECHA	TURNO	LABOR	SOLICITANTE	FUL	DIN	GUI	ANF	BRO	GS	COSTO/DIA		
11/11/2019	DÍA	Mañana								S/	-	
		Tarde	DESQ	Crespo	10	10	10	20	1	1	S/	94.24
	NOCHE	Noche	DESQ	Delgadib	8	8	8	20	1	1	S/	86.24
Madrugada			Delgadib							S/	-	
12/11/2019	DÍA	Mañana	SN1C	Crespo	27	31	27	80	1	1	S/	181.04
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1.B	Delgadib	27	27	27	50	1	1	S/	168.24
Madrugada			Delgadib							S/	-	
13/11/2019	DÍA	Mañana	SN1C	Crespo	25	30	25	50		1	S/	118.74
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1B	Delgadib	27	32	27	85		1	S/	133.74
Madrugada			Delgadib							S/	-	
14/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/	-
		Tarde	GALERIA	Crespo	39	43	39	117	2	1	S/	286.44
	NOCHE	Noche		Delgadib					1		S/	50.00
Madrugada		SN1-B	Delgadib	27	32	27	60	2	1	S/	228.74	
15/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/	-
		Tarde	SN1-C	Crespo	22	31	27	81		1	S/	125.74
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	27	31	27	81		1	S/	131.24
Madrugada		SN1-C	Delgadib	20	20	20	60		1	S/	92.24	
16/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-B	Crespo	27	31	27	54	2	1	S/	225.84
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	25	27	25	75	2	1	S/	218.64
Madrugada		SN1-C	Delgadib	25	27	25	75	1	1	S/	168.64	
17/11/2019	DÍA	Mañana	GALERIA	Crespo	43	48	43	129		2	S/	206.78
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1-C	Delgadib	22	24	22	48		1	S/	101.24
Madrugada			Delgadib							S/	-	
18/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-B	Crespo	27	31	27	70		1	S/	129.04
		Tarde	SN1-C	Crespo	20	21	20	30		1	S/	87.94
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	27	31	27	80		1	S/	131.04
Madrugada		SN1-C	Delgadib	27	31	27	80		1	S/	131.04	
19/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-C	Crespo	27	31	27	50	1	1	S/	175.04
		Tarde	SN1-B	Crespo	20	24	20	40		1	S/	95.04
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	27	31	27	80		1	S/	131.04
Madrugada		SN1-C	Delgadib	27	31	27	80		1	S/	131.04	
20/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-B	Crespo	27	31	27	50		1	S/	125.04
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1.-C	Delgadib	20	24	20	40	1	1	S/	145.04
Madrugada		SN1-B	Delgadib	27	31	27	80		1	S/	131.04	
21/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-C	Crespo	27	31	27	50	1	1	S/	175.04
		Tarde		Crespo							S/	-
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	27	31	27	80	1	1	S/	181.04
Madrugada		SN1-C	Delgadib	30	34	30	90		2	S/	145.28	
22/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-B	Crespo	27	31	27	60	1	1	S/	177.04
		Tarde		Crespo		10					S/	17.00
	NOCHE	Noche	SN1-C	Delgadib	7	17	7	40	1	1	S/	103.24
Madrugada		SN1-B	Delgadib	30	34	30	90		2	S/	145.28	
23/11/2019	DÍA	Mañana	CH1-P	Crespo	27	31	27	60	1	1	S/	177.04
		Tarde	SN1-C	Crespo	20	27	20	40		1	S/	100.14
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadib	27	31	27	80	1	1	S/	181.04
Madrugada		CH1-P	Delgadib	30	34	30	90		2	S/	145.28	
24/11/2019	DÍA	Mañana	Desq		15	15	15		1	1	S/	110.24
		Tarde									S/	-
	NOCHE	Noche									S/	-
Madrugada										S/	-	
TOTAL										S/	5,687.78	

CONSUMO MATERIAL CONTRATA "JULIO ANTICONA"											
DATOS GENERALES					MATERIAL ESPECIAL						
FECHA	TURNO			SOLICITANTE	FUL	DIN	GUI	ANF	BRO	GS	COSTO/DIA
25/11/2019	DÍA	Mañana	SN1-C	LEON	27	31	27	50	2	1	S/ 225.04
		Tarde	SN1-B	Crespo	30	36	30	80	1	1	S/ 196.44
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -
26/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo	30	35	30	95	1	1	S/ 197.74
		Tarde		Crespo	30	35	30	70		1	S/ 142.74
	NOCHE	Noche		Delgadito	30	35	30	95	1	1	S/ 197.74
		Madrugada		Delgadito	30	35	30	95		1	S/ 147.74
27/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo	32	47	32	95	1	1	S/ 222.74
		Tarde	GALERIA	Crespo	45	50	45	135		2	S/ 215.98
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada	SN1-C	Delgadito	30	32	30	90	1	1	S/ 191.64
28/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde	SN1-B	Crespo	32	37	32	95	1	1	S/ 205.74
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -
29/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde		Crespo							S/ -
	NOCHE	Noche	SN1-B	Delgadito	32	27	32	95		1	S/ 138.74
		Madrugada	DESQ	Delgadito	20	20	20	20		1	S/ 84.24
30/11/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde	DESQ	Crespo	20	20	20	60		1	S/ 92.24
	NOCHE	Noche	SN1-C	Delgadito	30	30	30	50		1	S/ 130.24
		Madrugada		Delgadito							S/ -
1/12/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde	CH1-P	Crespo	35	40	35	100		1	S/ 168.74
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -
2/12/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde	SN1-C	Crespo	30	33	30	90		2	S/ 143.58
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada	SN1-B	Delgadito	29	33	29	90		1	S/ 141.04
3/12/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde	DESQ	Crespo	20	25	20	75		1	S/ 103.74
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -
4/12/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde		Crespo							S/ -
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -
5/12/2019	DÍA	Mañana		Crespo							S/ -
		Tarde		Crespo							S/ -
	NOCHE	Noche		Delgadito							S/ -
		Madrugada		Delgadito							S/ -

CONSUMO MATERIAL CONTRATA "JULIO ANTICONA"										
DATOS GENERALES				MATERIAL ESPECIAL						
FECHA	TURNO	SOLICITANTE	LABOR	FUL	DIN	GUI	ANF	BRO	GS	COSTO/DIA
6/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
7/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde	RANFLA	25	30	25	50		1	S/ 118.74
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
8/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche	GALERIA	45	50	45	135		2	S/ 215.98
9/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
10/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
11/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
12/01/2020	DÍA	Mañana	RANFLA Y SN1	49	54	49	150		3	S/ 235.22
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
13/01/2020	DÍA	Mañana	RANFLA (desq)	6	6				1	S/ 17.04
		Tarde								S/ -
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
14/01/2020	DÍA	Mañana	SN1(DES)	4	4	4	12		1	S/ 18.64
		Tarde	RANFLA, SN1	40	50	40	100		2	S/ 197.48
	NOCHE	Noche	RANFLA(DES)	5	5	5	5		1	S/ 21.24
Madrugada										S/ -
15/01/2020	DÍA	Mañana	RANFLA SN1	40	50	40	90		2	S/ 195.48
		Tarde	CORT 1 , CORT 2	12	18	12	20		1	S/ 62.44
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
16/01/2020	DÍA	Mañana	SN1	30	35	30	90		1	S/ 146.74
		Tarde	RANFLA	33	35	33	90		1	S/ 153.64
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
17/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde	SN1	30	36	30	80		2	S/ 146.68
	NOCHE	Noche	SN1(DESQ)	5	5	5	12		1	S/ 22.64
Madrugada										S/ -
18/01/2020	DÍA	Mañana	SN1	30	35	30	90		2	S/ 146.98
		Tarde	RAMPA	32	37	32	96		1	S/ 155.94
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
19/01/2020	DÍA	Mañana	RANFAL, SN1(DESQ)	30	35	30	90		2	S/ 146.98
		Tarde	SN1, RANFLA(DESQ)	30	35	30	18		2	S/ 132.58
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
20/01/2020	DÍA	Mañana	RANFLA/ SN1	30	35	30	90		1	S/ 146.74
		Tarde	SN1(DESQ)	7	7	7	21		1	S/ 32.44
	NOCHE	Noche	GALERIA	46	51	46	138		2	S/ 220.58
21/01/2020	DÍA	Mañana	desq	2	3	2	15		1	S/ 12.94
		Tarde	SN1	30	38	30	120		1	S/ 157.84
	NOCHE	Noche	SN1(DESQ)	7	7	7	21		1	S/ 32.44
Madrugada		SN1(DESQ)	4	4	4	12		1	S/ 18.64	
22/01/2020	DÍA	Mañana	RANFLA	30	35	30	100		1	S/ 148.74
		Tarde	SN1	30	35	30	90		1	S/ 146.74
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
23/01/2020	DÍA	Mañana	SN1	30	35	30	50		1	S/ 138.74
		Tarde	RANFLA	30	35	30	65		1	S/ 141.74
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
24/01/2020	DÍA	Mañana								S/ -
		Tarde								
	NOCHE	Noche								
Madrugada										S/ -
TOTAL										S/ 3,332.02

Anexo 10: Procedimiento del análisis realizado en el software JKsimblast en modulo subterráneo 2D Face

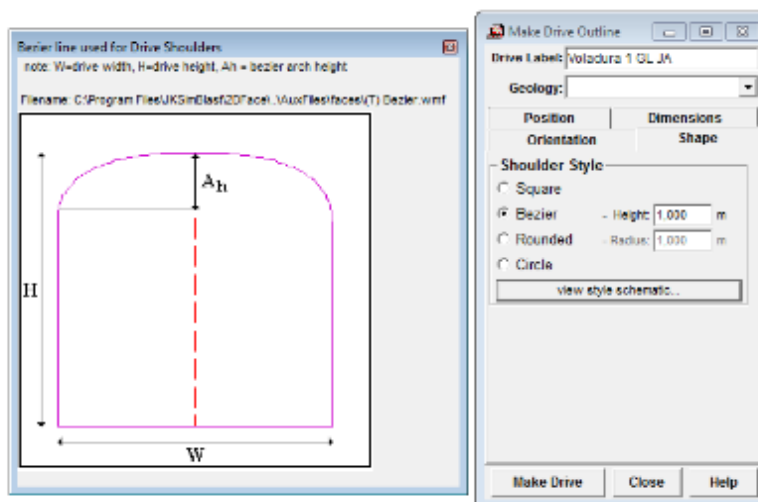
DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA SIN NINGUNA MODIFICACIÓN QUE SE OBTUVO COMO RESULTADOS DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

PASO 1: INTERACCIÓN CON INTERFACE DEL PROGRAMA Y LA CREACIÓN DE LOS TALADROS

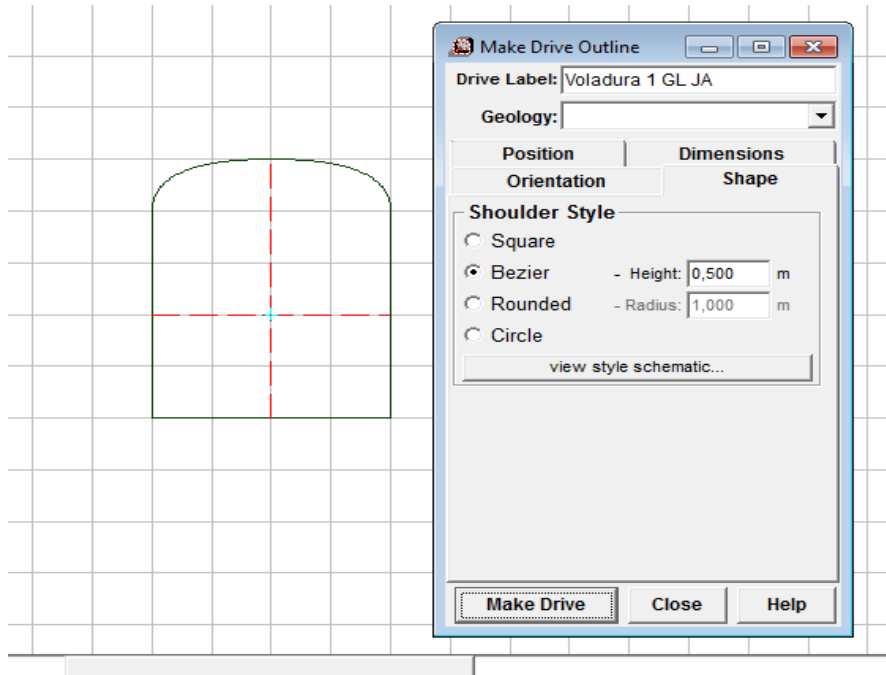
Ahora se digita las dimensiones de la labor en este caso de una galería de 2 x 2.5 m



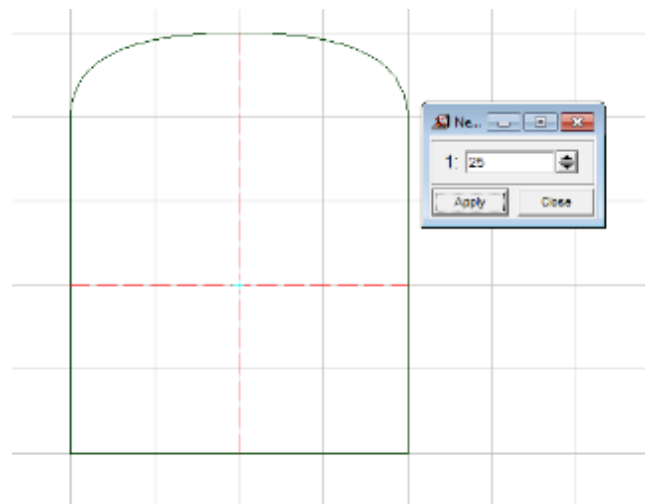
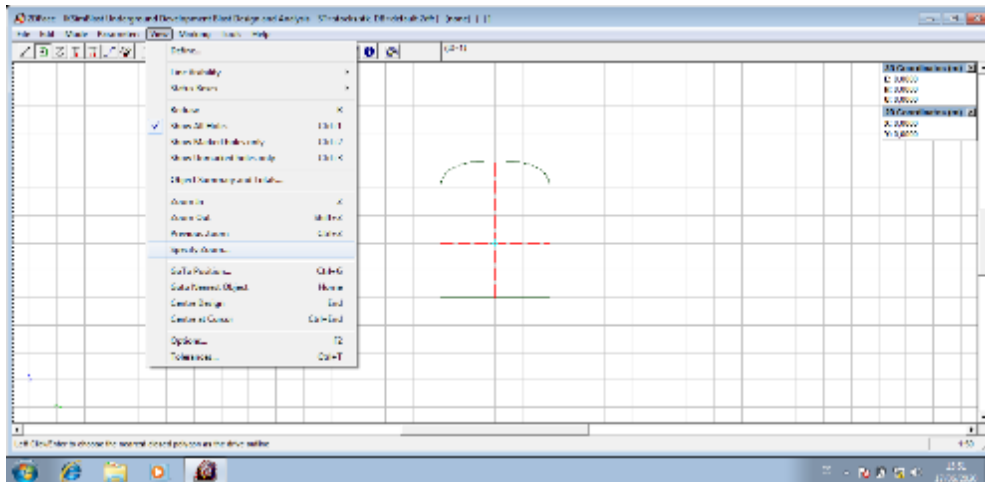
Ahora se verifica la semejanza de nuestra labor



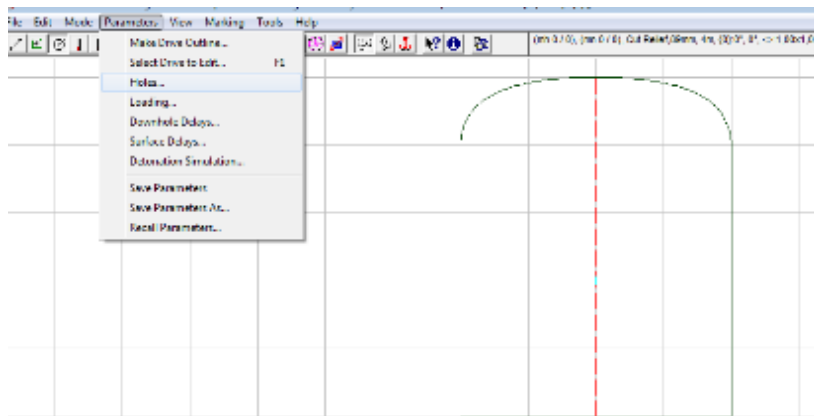
Realizamos el diseño de la sección



Ahora le damos un zoom para verlo mejor

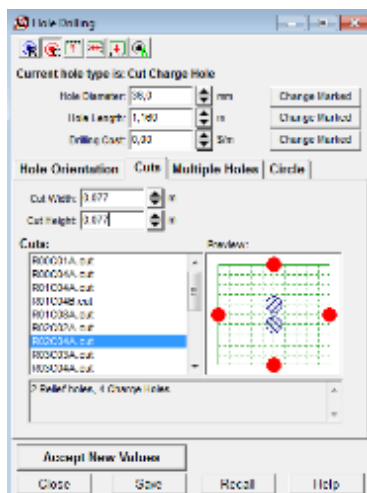


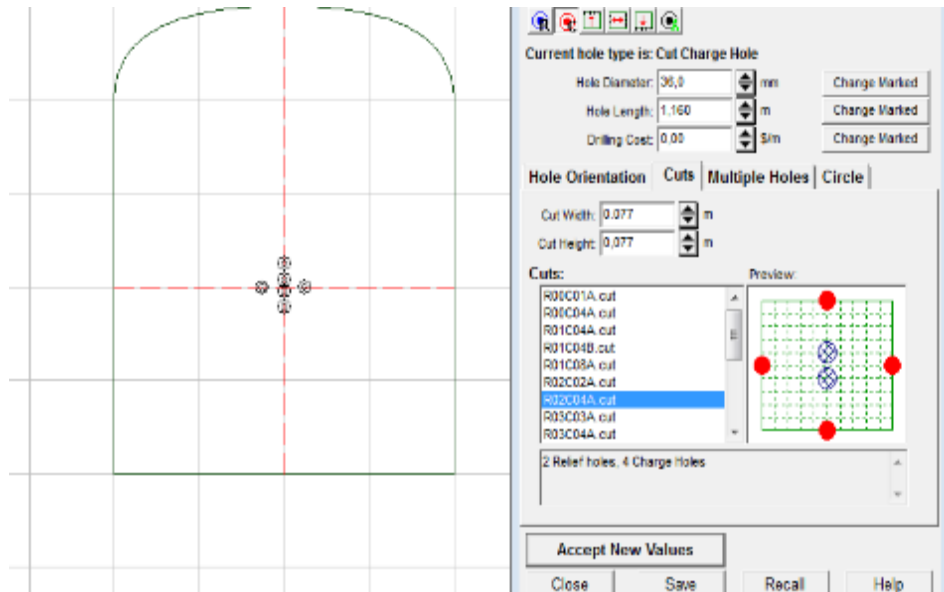
Luego realizamos la creación de los taladros en la sección de la galería



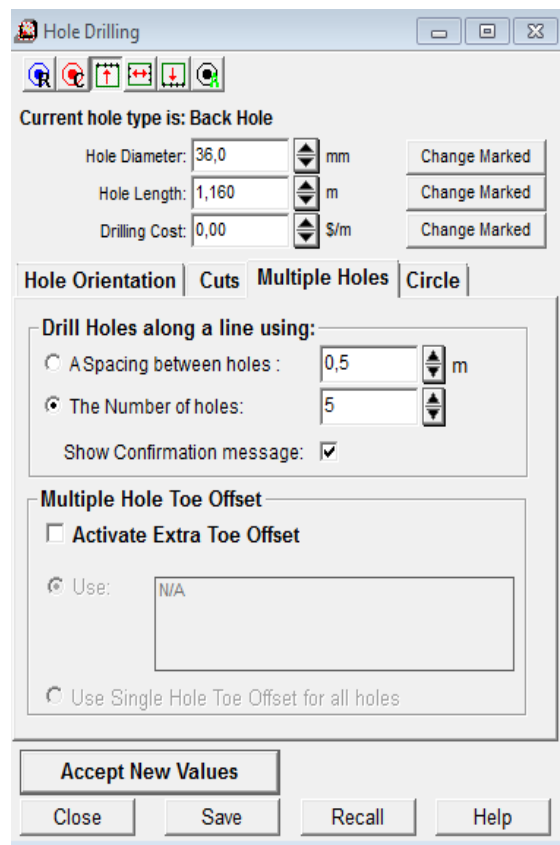
Aquí se pueden crear todos los taladros como son: arranque, corona, zapatera, caja y auxiliares.

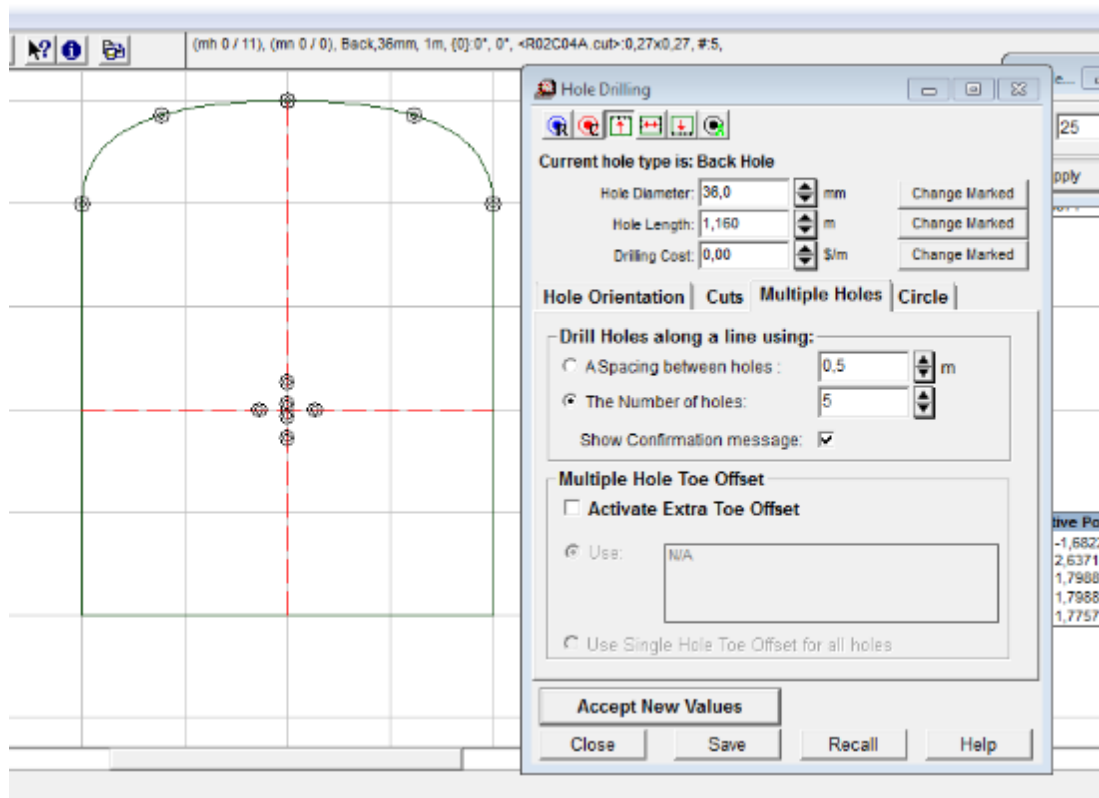
Empezamos creando el arranque



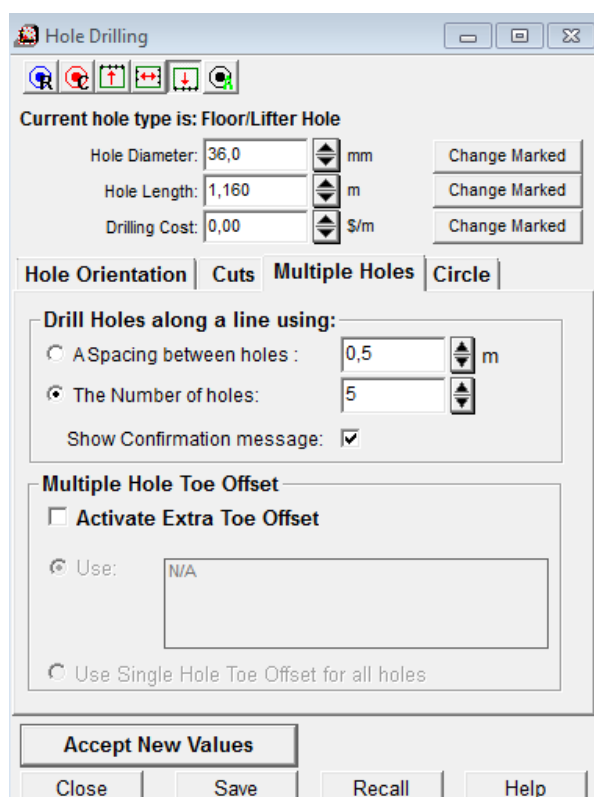


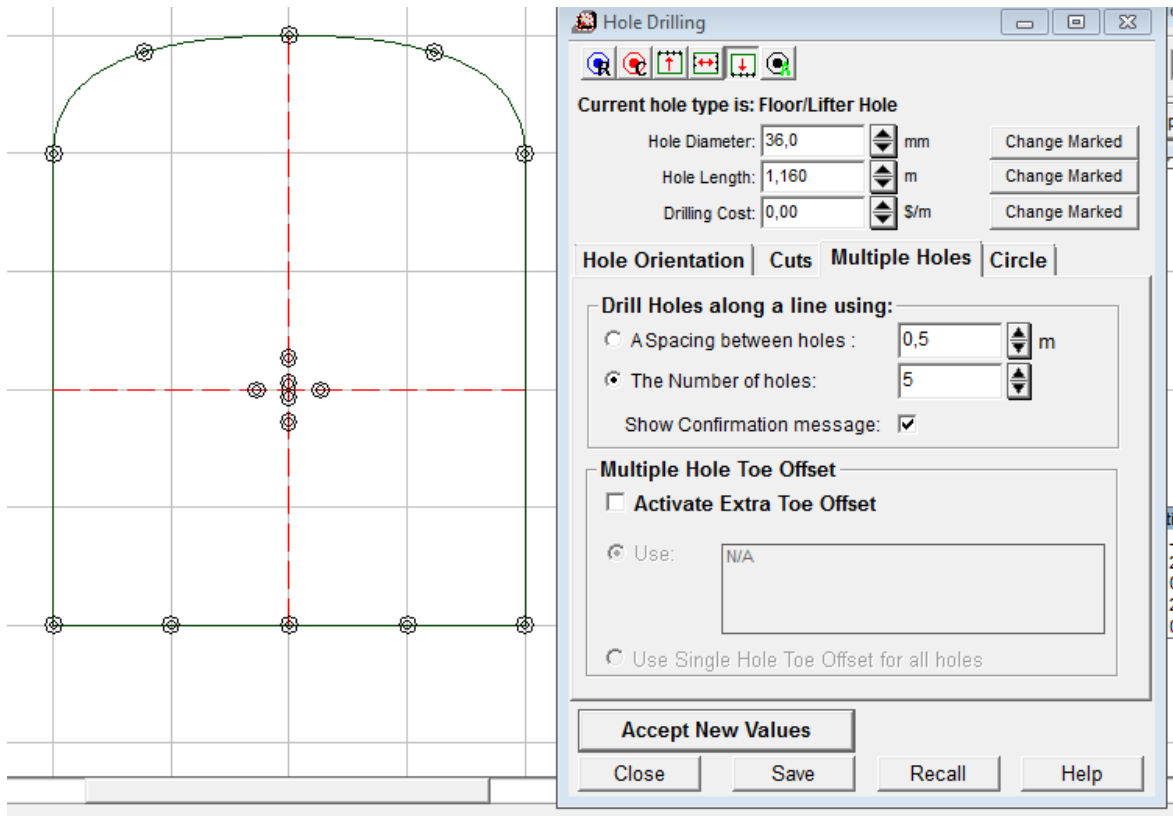
Taladros del techo



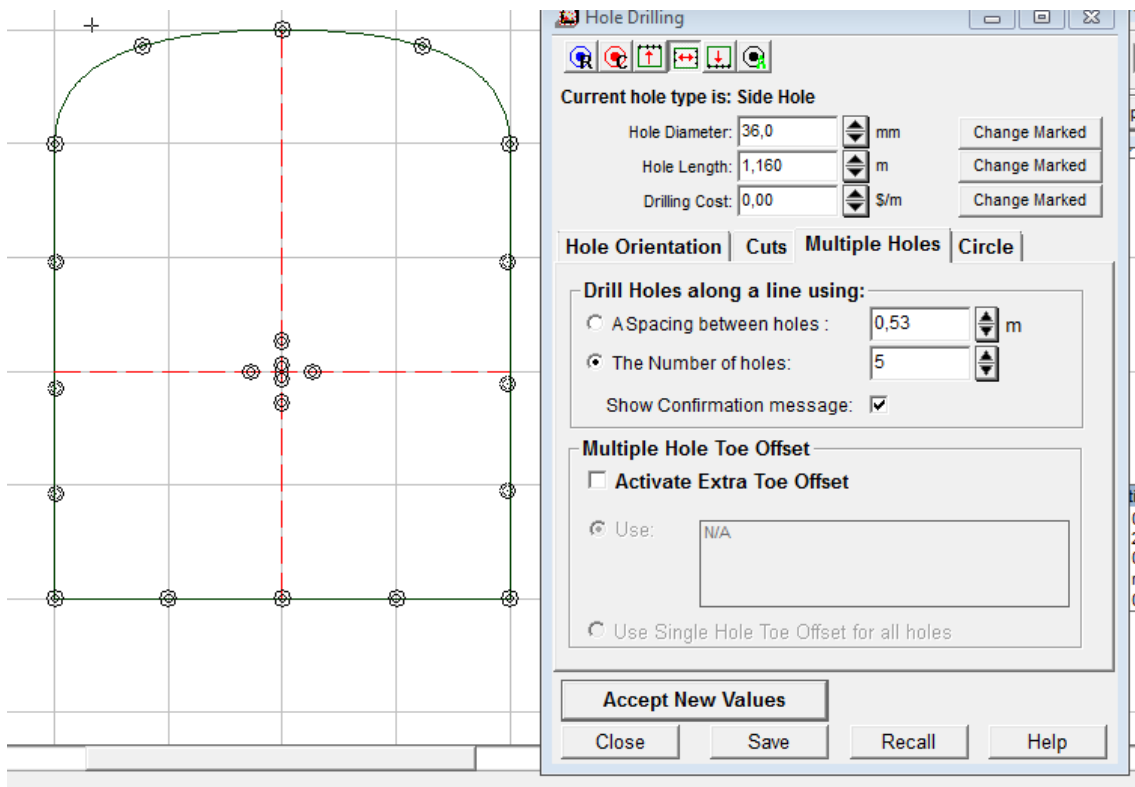
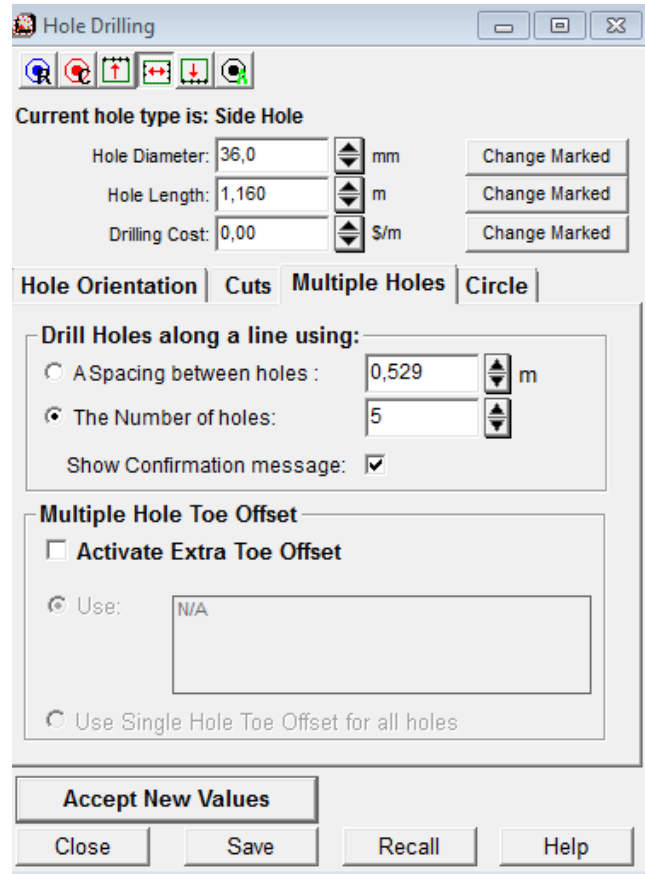


Los tiros de zapatera

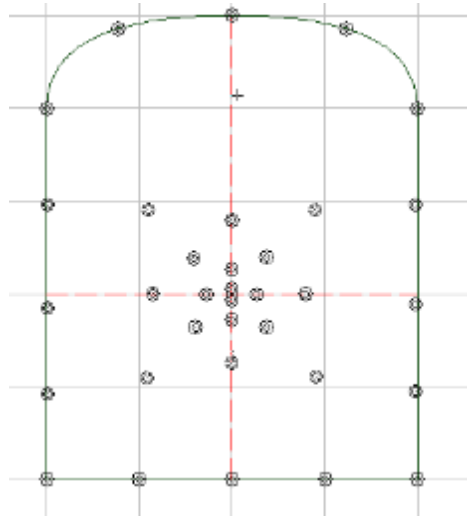




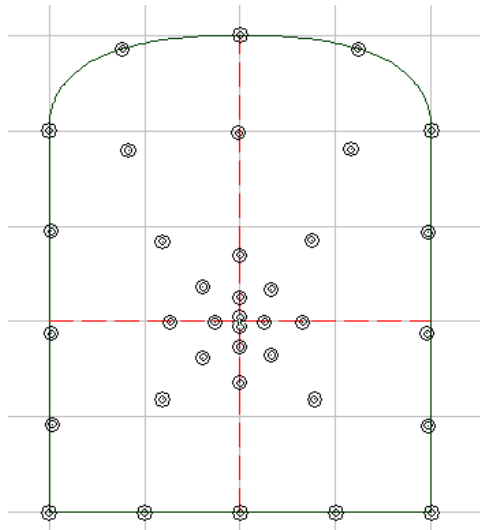
Ahora realizamos los taladros de caja



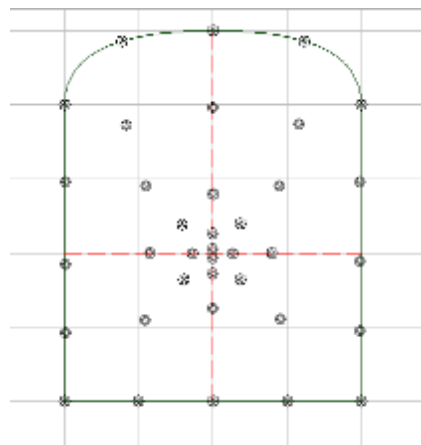
Se realiza los taladros de las Ayudas 1, 2 y 3



Seguidamente los auxiliares de corona:

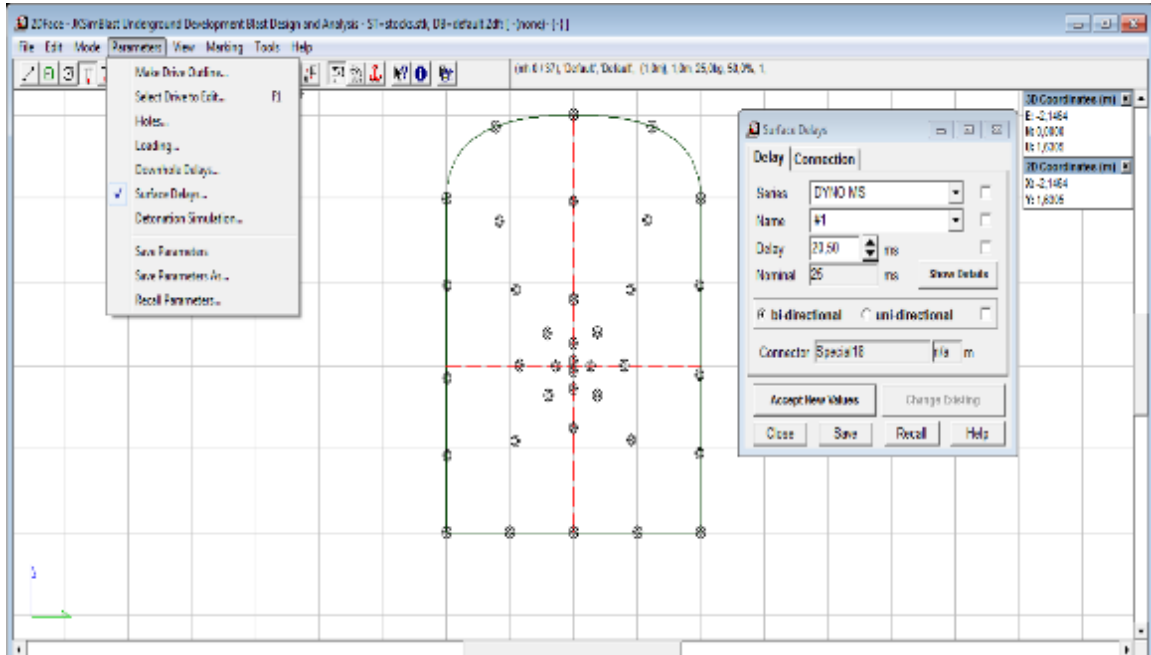


Vista completa de la malla de perforación con los 37 taladros, siendo 35 de producción y 2 de alivio.

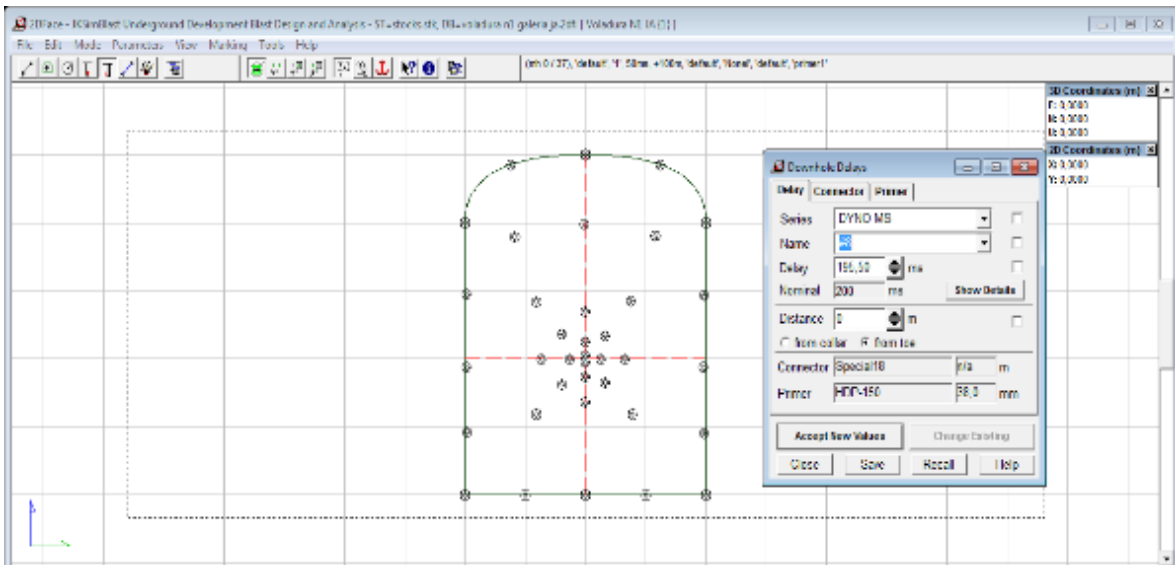


PASO 2: CARGAR LOS TALADROS

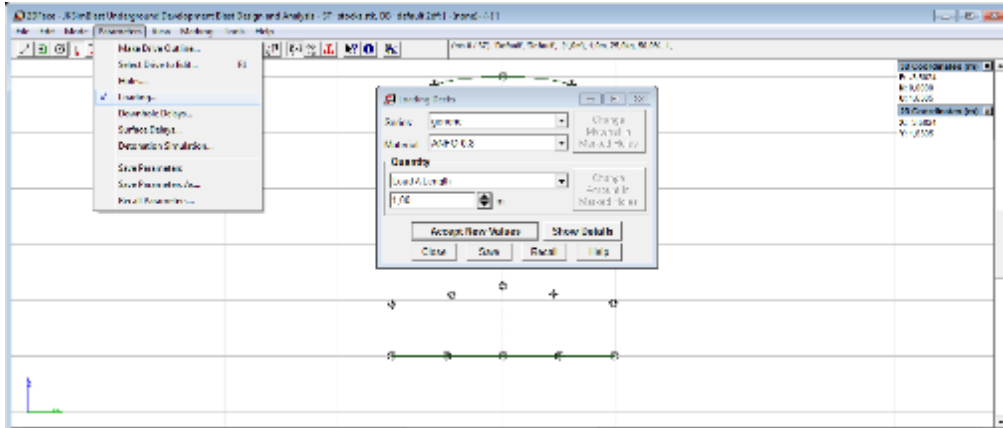
Ahora vamos a colocar el retardo en el fondo del taladro



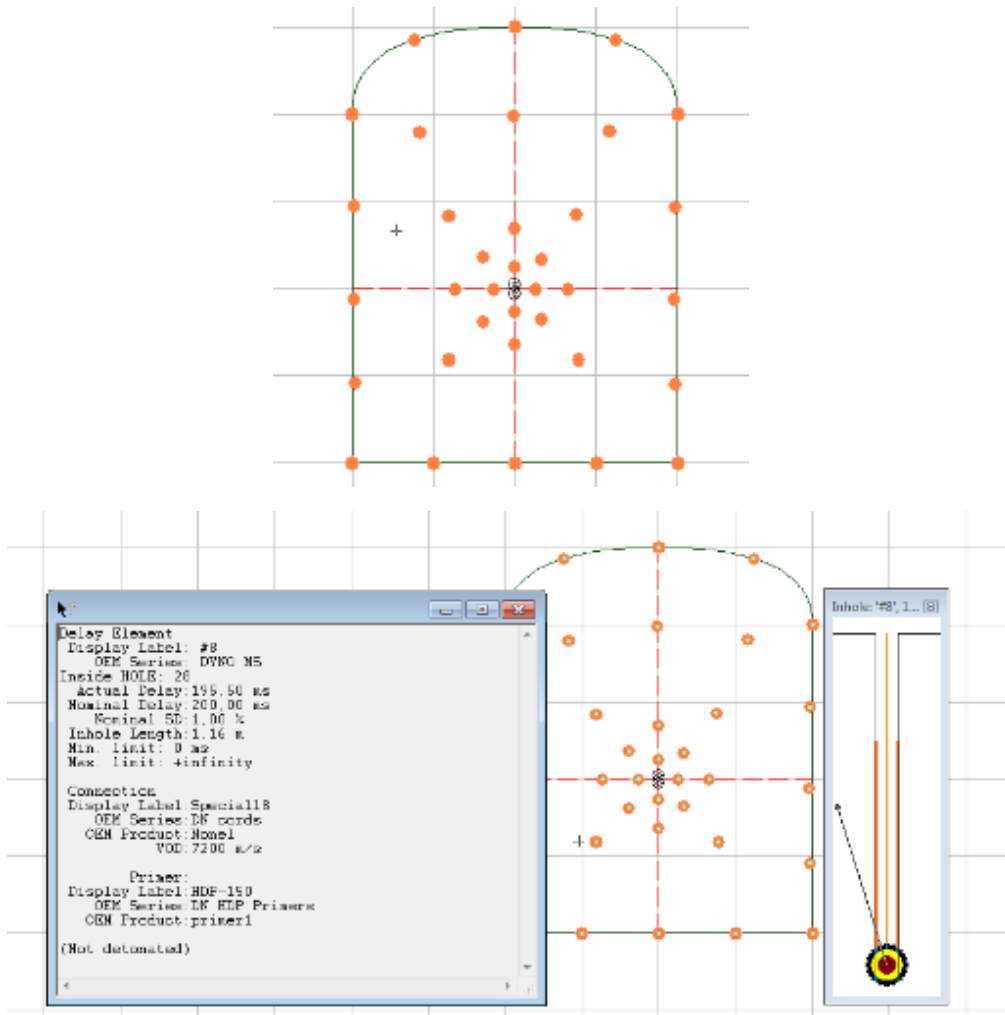
Configuramos con el fulminante a utilizar en este caso se utilizará el N° 8

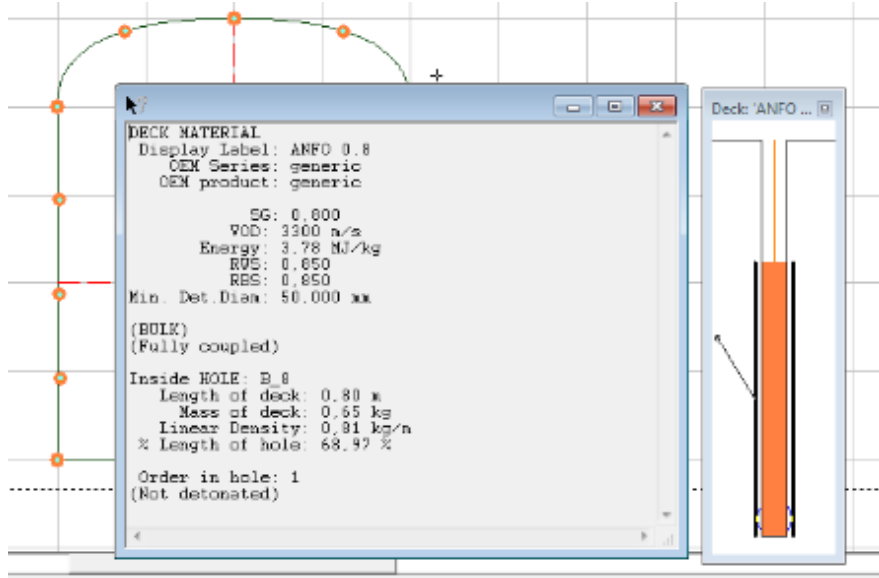


Ahora empezamos a cargar con el nitrato de amonio, por lo cual en el software colocamos Material ANFO y en serie GENERICO, ya que no está mezclado con ningún químico más antes de la voladura.

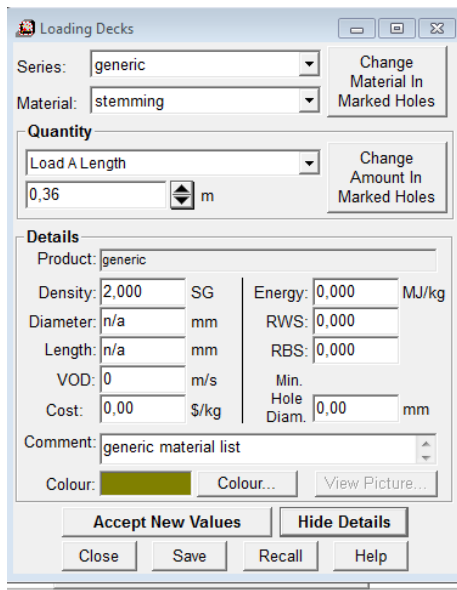


Vista taladros cargados

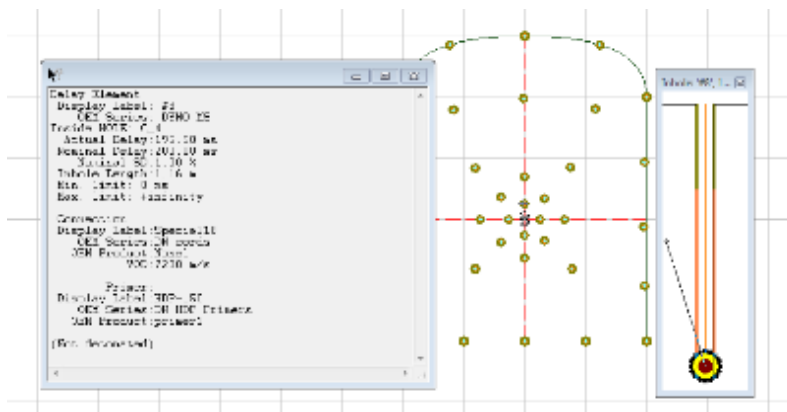




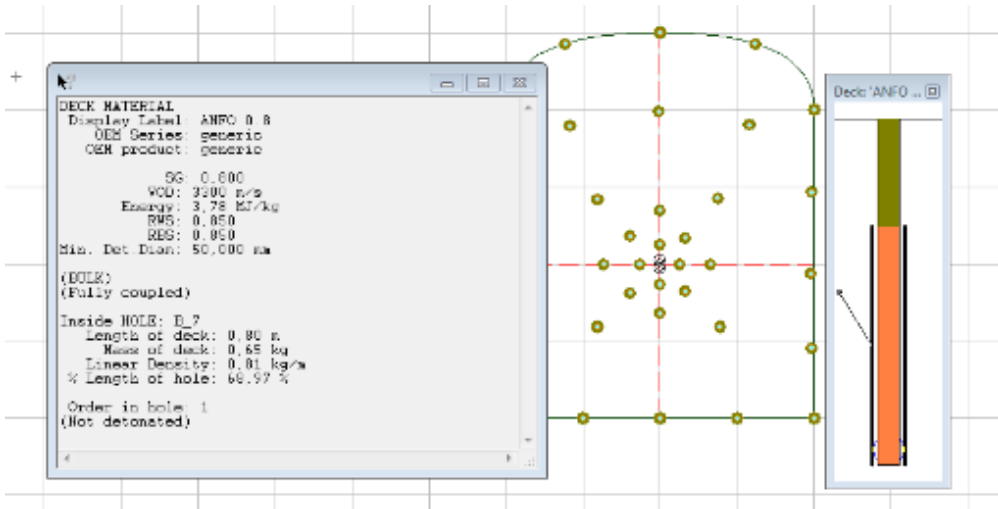
Ahora pasamos a taquear con material inerte en este caso en el programa lo encontramos como stemming longitud de taco de 0,36 m



Taladro cargado con material inerte (taco)

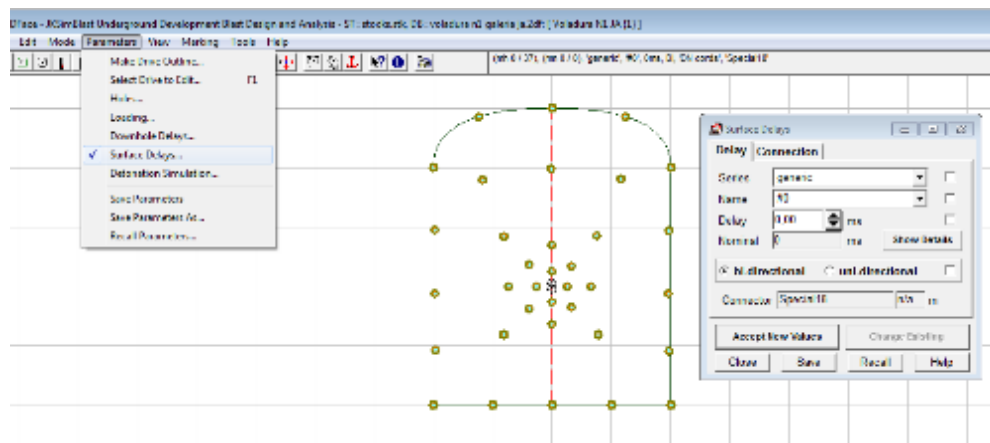


Vista de taladro cargado completamente, teniendo el explosivo y el taco.

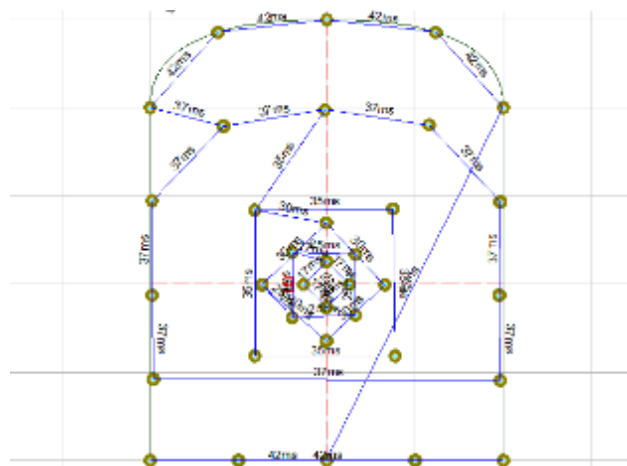


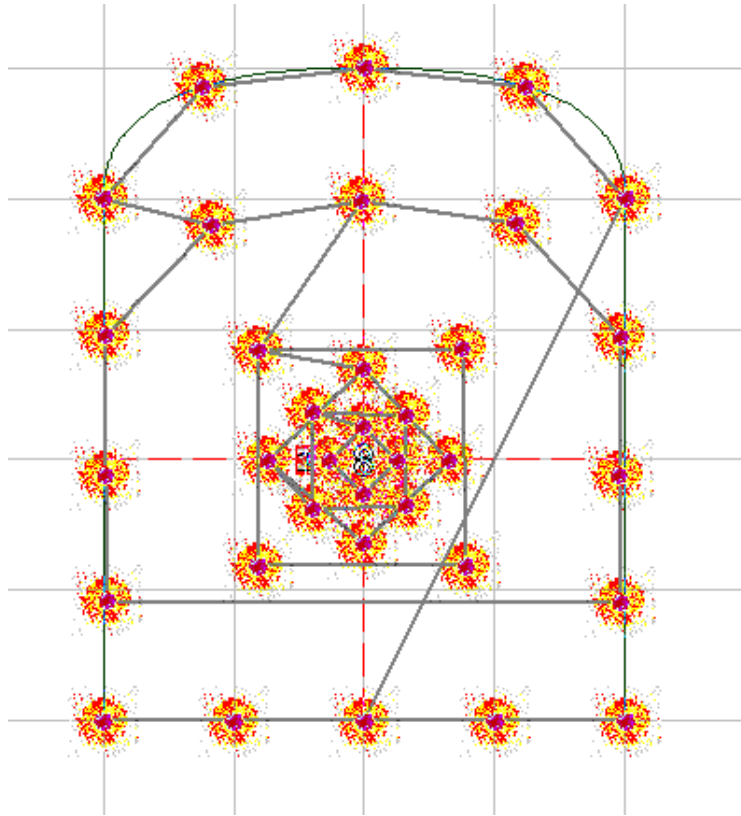
PASO 3: AMARRE DE LA MALLA DE PERFORACIÓN

Realizamos el amarre primero empezando a configurar.

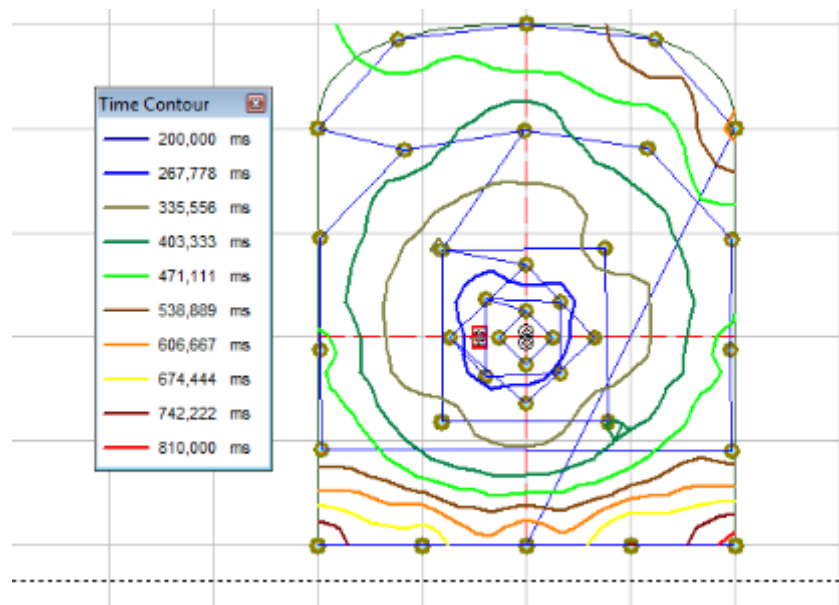


Vista de la malla amarrada, lista para darle la secuencia de salida, con los milisegundos establecidos.





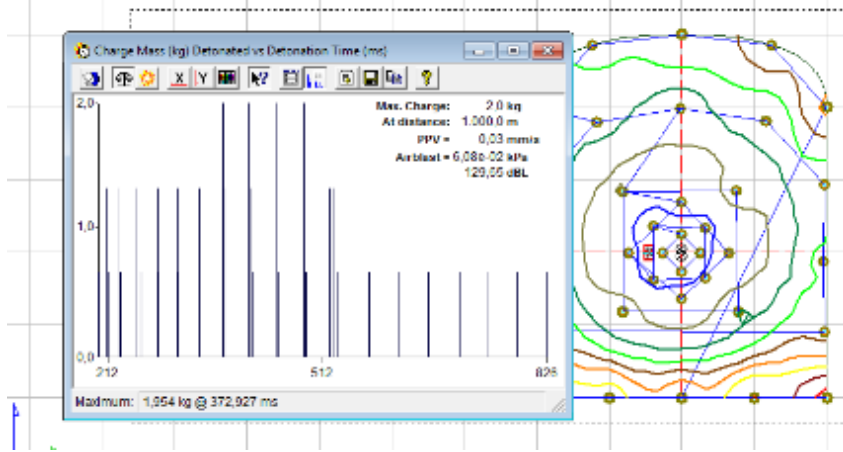
Isotiempos de la secuencia de salida del disparo



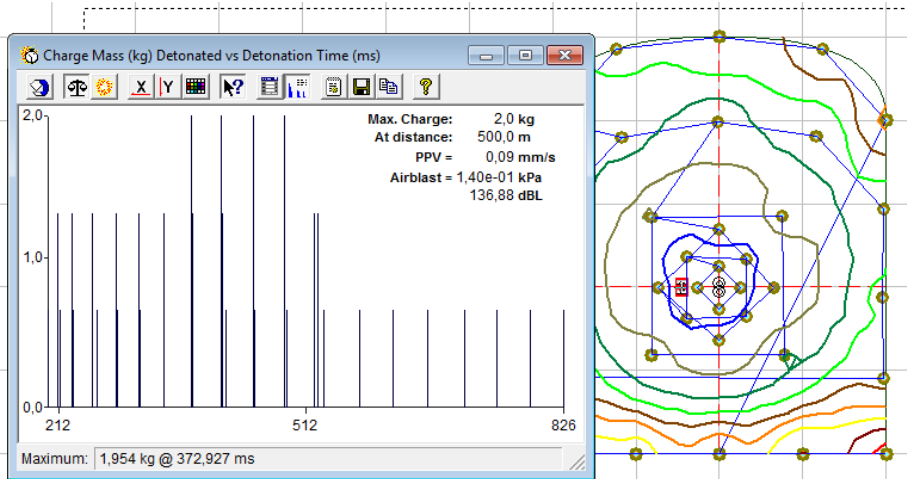
PASO 4: ANALISIS DE LA MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA

Análisis De velocidad pico de las partículas PPV

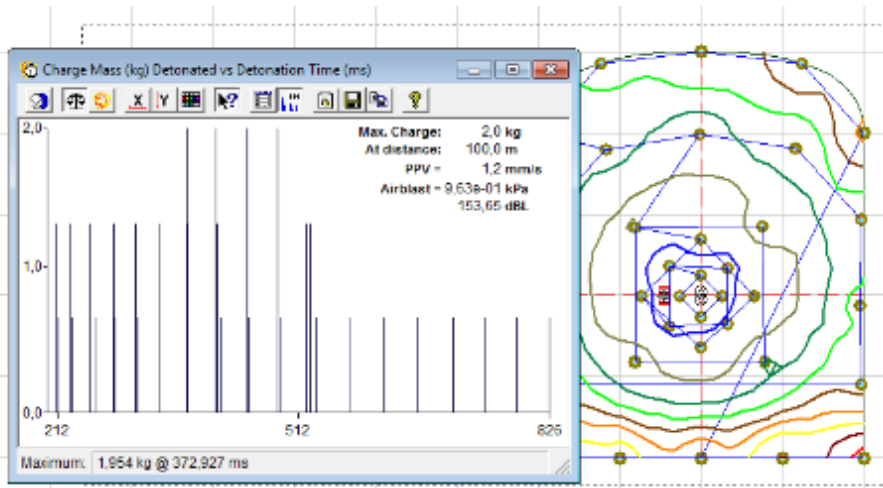
Para 1000 m



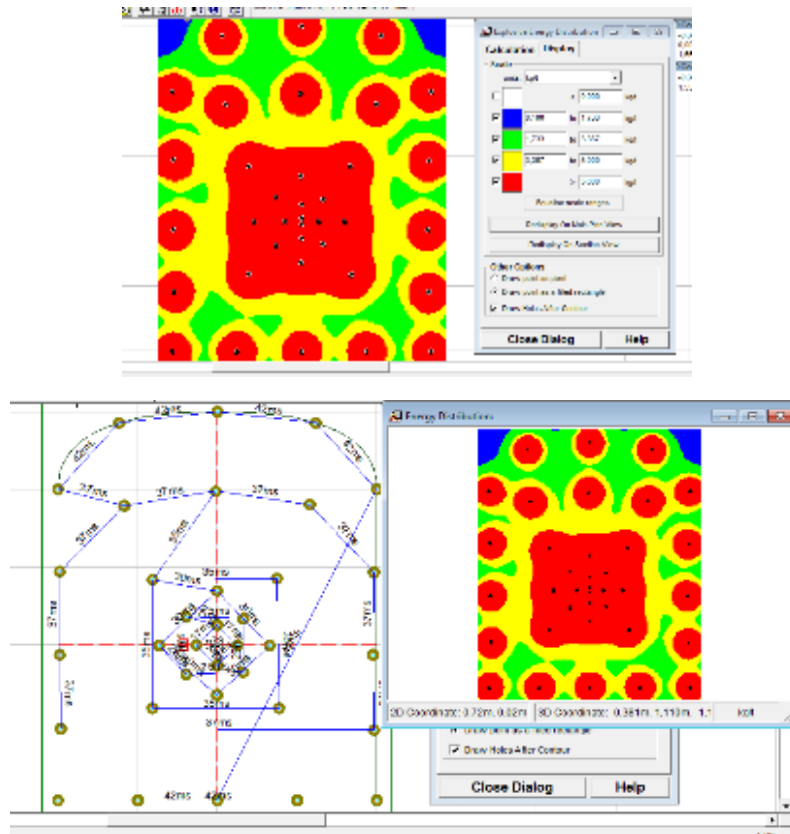
Para 500 m



Para 100 m



Distribución de la energía en toda la malla de perforación y voladura



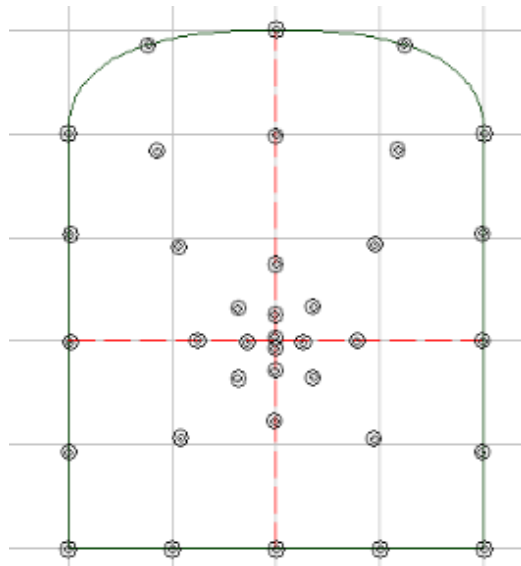
INTERPRETACIÓN: En esta distribución de la energía del explosivo se puede observar que la mayor concentración se encuentra en el arranque, en donde también podemos observar que la energía es más débil al contorno ya los hastiales se deben proteger para reducir la sobre excavación, la energía se conecta en toda la malla por lo que se dice que esta malla es correcta y sería eficiente al aplicarla en campo.

DISEÑO DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON LA MODIFICACIÓN EN EL BURDEN Y ESPACIAMIENTO.

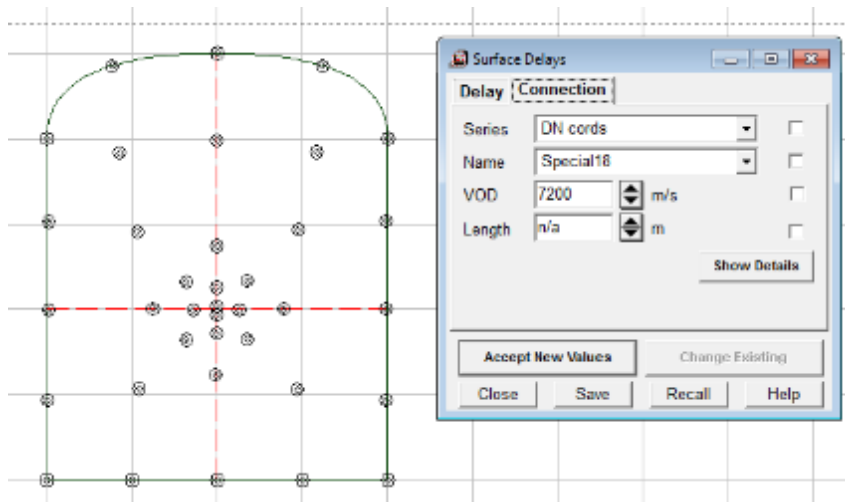
Para realizar el diseño y la simulación de la malla de perforación y voladura el procedimiento a seguir es el mismo que el de la malla anterior lo único que varía es el burden y espaciamiento de cuadrantes y disparos de caja, ya que en campo se tiene que evaluar si es que existe o no equipos precisos al momento de marcar dicha malla, por lo que en seguida se presenta el desarrollo por lo que se omite algunas especificaciones.

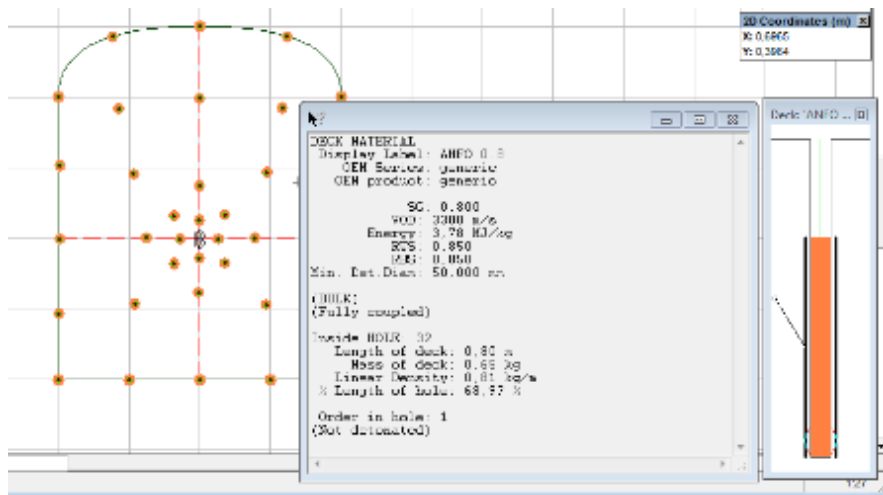
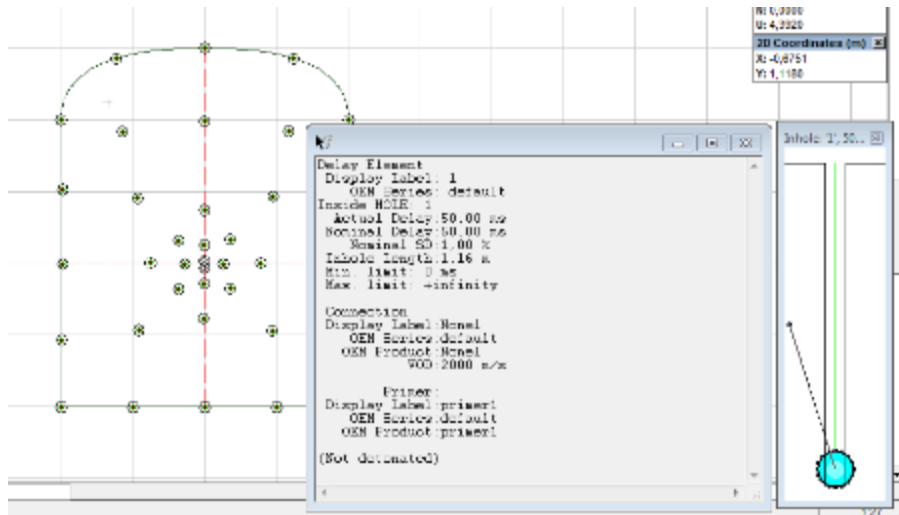
PASO 1: VISTA DE TALADROS

Vista de la malla de perforación con algunas modificaciones

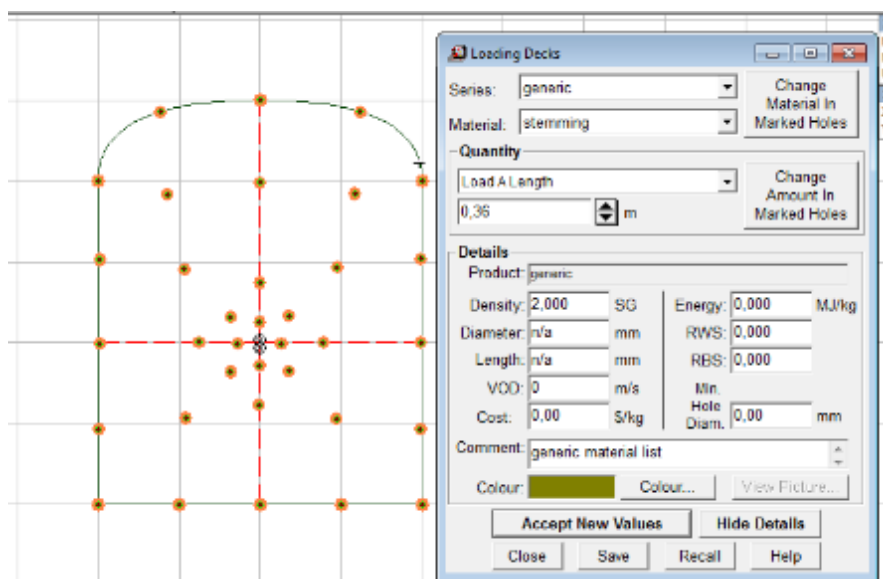


PASO 2: CARGANDO TALADROS

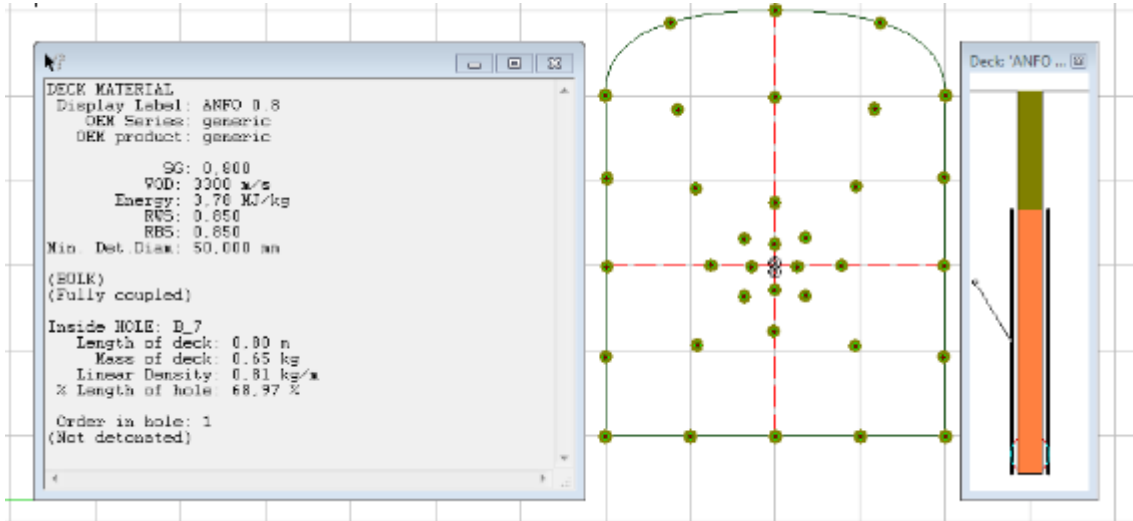




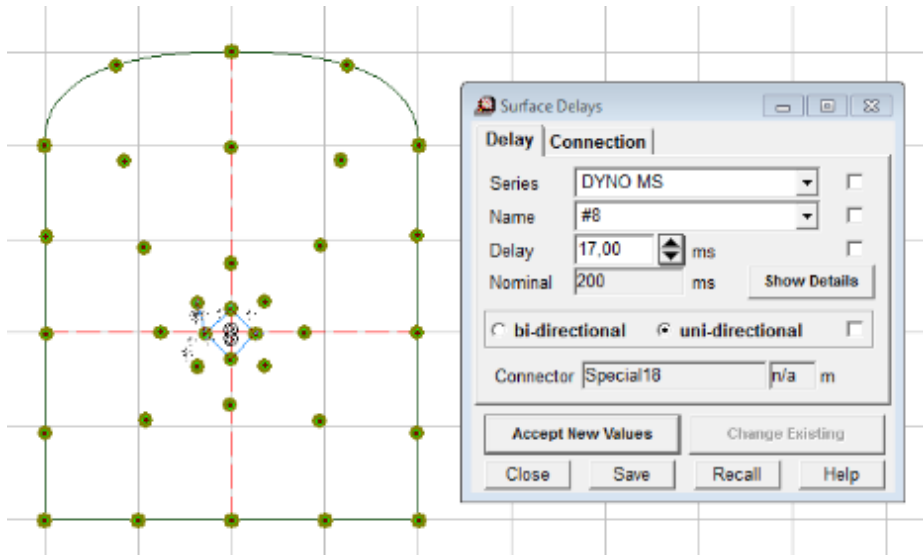
Cargando el taco



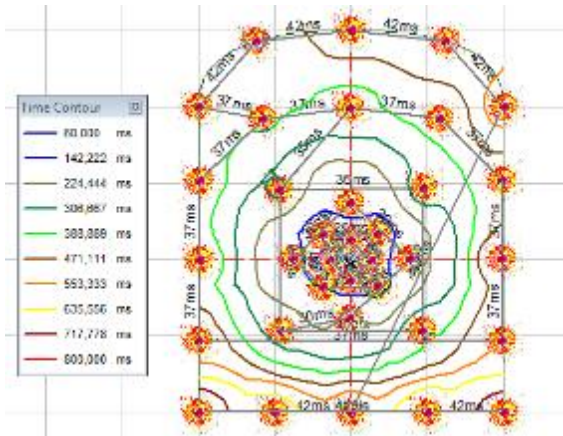
Vista del taladro cargado completamente, con carga explosiva y taco de stemming



PASO 3: AMARRE DE LA MALLA DE PERFORACIÓN



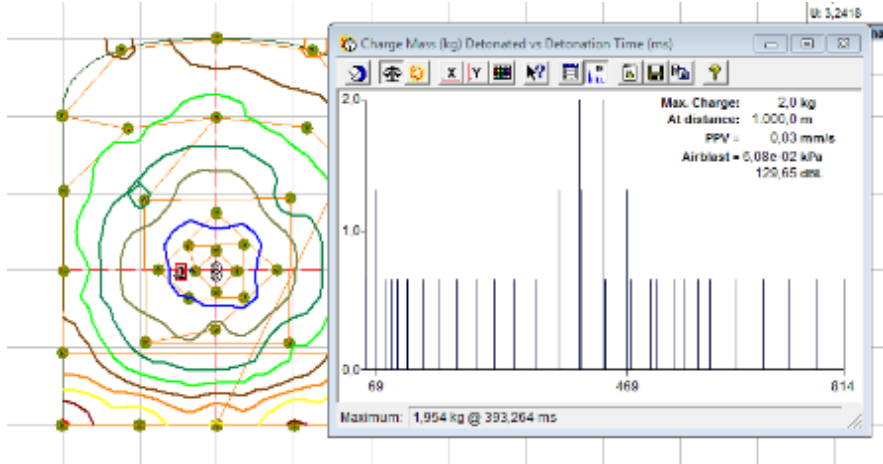
Isotiempos de la secuencia de salida del disparo



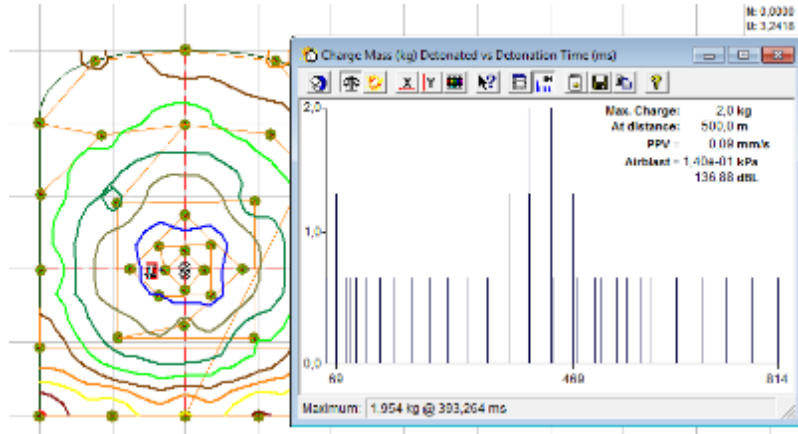
PASO 4: ANALISIS DE LA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

Análisis de la velocidad pico de partículas PPV

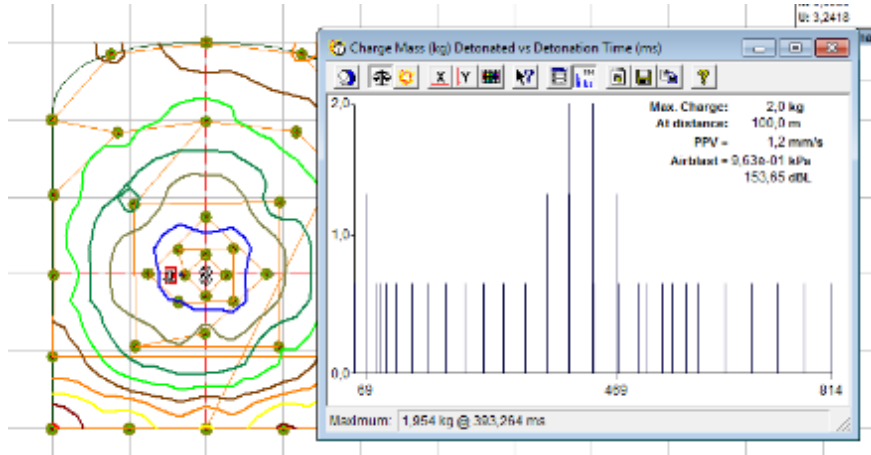
Para 1000 m



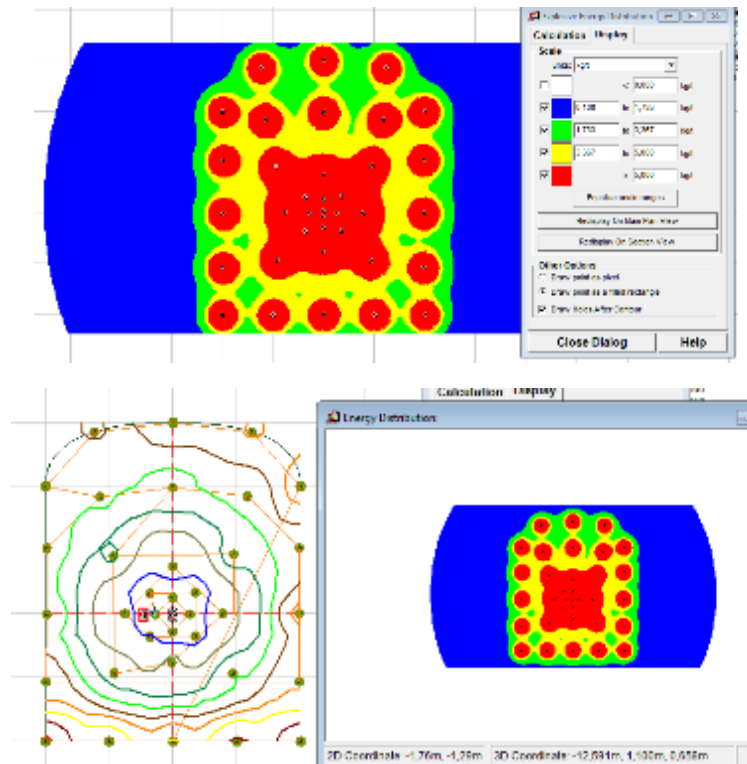
Para 500 m



Para 100 m



Distribución de la energía en toda la malla de perforación y voladura



INTERPRETACIÓN: En esta malla la distribución de la energía del explosivo se observa en el arranque y también se puede observar que a las paredes se reduce y así reduciendo o evitando una sobre rotura del macizo rocoso y por otro lado mejorando la estabilidad, la energía se concentra a lo largo de toda la malla por lo que se dice que esta malla es válida y sería eficiente al aplicar en campo.

Anexo 11: Malla propuesta final para campo

