

Especialidad - Minas

*Trabajo de Diploma en opción al título
de Ingeniero en Minas*

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO GRÁFICO
DEL PASAPORTE DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA A CIELO ABIERTO CON LA
UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE SHOTPLUS

Autor: Alvaro Esteban Cerulia Hechavarría

Curso: 2018-2019

“Año 61 de la Revolución”

Especialidad – Minas

*Trabajo de Diploma en opción al título
de Ingeniero en Minas*

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO GRÁFICO
DEL PASAPORTE DE PERFORACIÓN Y
VOLADURA A CIELO ABIERTO CON LA
UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE SHOTPLUS

Autor: Alvaro Esteban Cerulia Hechavarría

Tutor: Dr.C. Julio Montero Matos

Curso: 2018-2019

“Año 61 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Alvaro Esteban Cerulia Hechavarría

Autor de este Trabajo de Diploma y el tutor Dr.C. Julio Montero Matos certificamos la propiedad intelectual a favor de la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente.

Diplomante: Alvaro Esteban Cerulia Hechavarría

Tutor: Dr.C. Julio Montero Matos

DEDICATORIA

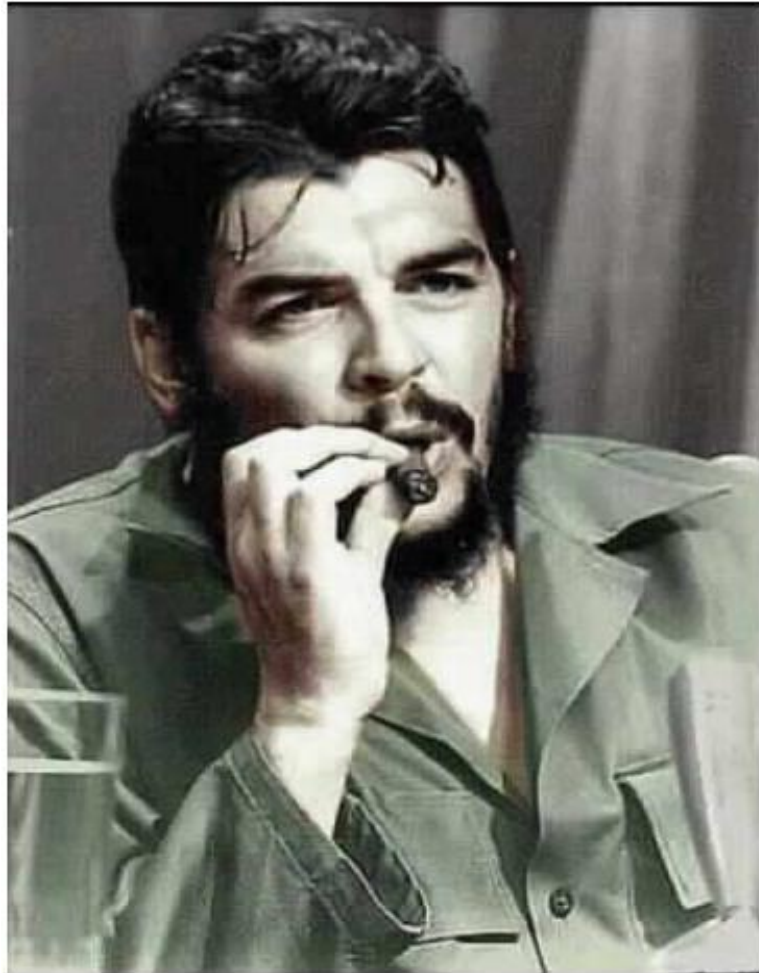
- ❖ A mis padres Esteban Cerulia Columbie y Concepción Homobona Hechavarría Mateo de los que siempre estaré orgulloso, que han sido mi mayor inspiración.
- ❖ A mi novia Arletys Terrero Cala quien me apoyó en todo momento y que con su comprensión me dio confianza y aliento para cumplir este sueño.
- ❖ A todos aquellos que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo.
- ❖ A nuestra Revolución por permitirme convertirme en un profesional.

AGRADECIMIENTO

- ❖ A la Revolución por permitirme estudiar y convertirme en un profesional revolucionario.
- ❖ A mis padres Esteban Cerulia Columbie y Concepción Homobona Hechavarría Mateo por darme su apoyo incondicional.
- ❖ A mi novia Arletys Terrero Cala que en las buenas y en las malas siempre ha estado junto a mí.
- ❖ A mi familia por su amor y comprensión durante toda mi vida.
- ❖ A mis compañeros de aula por tantos momentos buenos y malos que hemos pasado juntos durante estos cinco años.
- ❖ Agradecer a mi tutor Dr. C. Julio Montero Matos por los conocimientos que me aportó y la preocupación mostrada durante la realización de mi trabajo de Diploma.
- ❖ A mis suegros Emilitina López Batista, Rafael Cala Rodríguez y Maidelin Cala López por toda su preocupación hacia mí durante este tiempo.
- ❖ A Héctor Esparraguera Guilarte quien me ha brindado todo su apoyo y conocimiento.
- ❖ A mi tío Jose Hechavarría Mateo por la preocupación mostrada durante la realización de mi trabajo de Diploma y los cinco años de carrera.
- ❖ A todos mis vecinos que me han estado apoyando en todo momento.
- ❖ Agradecer a todos mis profesores por trasmitirme los conocimientos que sin ellos no habría podido lograr mis sueños.

“A todos ustedes mis más sinceros y profundos agradecimientos”

PENSAMIENTO



“Todo se reduce a un denominador común en cualquiera de las formas en que se analice: al aumento de la productividad en el trabajo, base fundamental de la construcción del socialismo y premisa indispensable para el comunismo”

Ernesto Guevara

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo elaborar un procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con la utilización del software SHOTPlus, que permita ser usado como herramienta de trabajo a los ingenieros en minas. Para ello se analizan los principales referentes teóricos sobre los trabajos de perforación y voladura a cielo abierto; las terminologías y características principales del software SHOTPlus; se exponen los pasos que integran el algoritmo que facilita la utilización del software para el diseño gráfico de los trabajos de perforación y voladura a cielo abierto y por último se aplica el procedimiento elaborado al yacimiento “Castellanos”. Como resultado final del presente trabajo se elaboró un procedimiento integral que permite incorporar una nueva herramienta para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con el uso del software minero SHOTPlus.

SUMARY

The objective of this research is to develop a procedure for the graphic design of the open-air drilling and blasting passport with the use of SHOTPlus software, which can be used as a working tool for mining engineers. To this end, the main theoretical references on drilling and open-pit blasting work are analyzed; the terminology and main features of the SHOTPlus software; the steps that make up the algorithm that allows the use of the software for the graphic design of the drilling and blasting works are exposed and finally the elaborated procedure is applied to the "Castellanos" deposit. As a final result of the present work an integral procedure was elaborated that allows to incorporate a new tool for the graphic design of the passport of perforation and blasting in the open sky with the use of the mining software SHOTPlus.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Antecedentes y estado actual de la temática.....	4
1.2 Conceptualización de los parámetros utilizados en el diseño de voladuras en cantera	6
1.3 Factores que influyen en el diseño de voladuras	7
1.4 Características del software SHOTPlus	10
1.5 Terminologías utilizadas en el software SHOTPlus.....	11
CAPITULO II. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO GRÁFICO DEL PASAPORTE DE PERFORACIÓN Y VOLADURA A CIELO ABIERTO CON LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE SHOTPLUS	13
2.1 Flujo de trabajo para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura con el software SHOTPlus.....	13
2.2 Representación gráfica de los pasos para graficar el pasaporte de perforación y voladura con el software SHOTPlus.....	14
CAPITULO III. CASO DE ESTUDIO (YACIMIENTO CASTELLANOS).....	32
3.1 Ubicación geográfica de la mina	32
3.2 Características hidrometeorológicas	35
3.3 Tectónica.....	37
3.4 Características geomecánicas del macizo rocoso según el tipo de roca.	37
3.5 Parámetros generales de la Perforación y Voladura	38
3.6 Diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura con la utilización del software SHOTPlus a partir del procedimiento planteado.....	40
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
ANEXOS	1

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Esquema de voladura en un banco.	7
Figura 2. Abrir programa.	14
Figura 3. Archivos recientes.....	15
Figura 4. Identificación del proyecto.....	16
Figura 5. Importación de la topografía actualizada.	16
Figura 6. Configuración de los datos de los pozos.....	18
Figura 7. Edición de carga explosiva.	18
Figura 8. Configuración de los datos del mineral o roca.	19
Figura 9. Creación de polígono	20
Figura 10. Edición de los datos para añadir un barreno.....	20
Figura 11. Añadir barreno.	21
Figura 12. Rellenar el polígono con barrenos.	22
Figura 13. Punto de inicio.	23
Figura 14. Conexiones y sus retardos.....	23
Figura 15. Resultado de las conexiones.	24
Figura 16. Dirección de la voladura.....	25
Figura 17. Ángulo de iniciación de la voladura.....	26
Figura 18. Relación Cargas-Tiempo, Peso-Tiempo.	27
Figura 19. Tiempo de desalojo.....	28
Figura 20. Frecuencia de disparo en el tiempo	29
Figura 21. Fragmentación.	30
Figura 22. Productos consumidos por la voladura.	30
Figura 23. Datos generales de la perforación.	31
Figura 24. Vista satelital de la mina.	32
Figura 25. Plano geológico del yacimiento Castellano.....	34
Figura 26. Identificación del proyecto.....	41
Figura 27. Topografía actualizada.....	41
Figura 28. Datos de la red de perforación.	42
Figura 29. Datos de las sustancias explosivas.....	42
Figura 30. Datos de la roca.	43
Figura 31. Polígono relleno con la red diseñada.	43
Figura 32. Conexión entre barrenos.....	44
Figura 33. Dirección de la voladura.....	45
Figura 34. Ángulo de iniciación de la voladura.....	46
Figura 35. Relación Peso-Tiempo.....	47
Figura 36. Relación Carga-Tiempo.	47
Figura 37. Tiempo de despojo.....	48
Figura 38. Frecuencia de disparo en el tiempo.	49
Figura 39. Fragmentación.	50

Figura 40. Productos consumidos por la voladura (1).....	50
Figura 41. Productos consumidos por la voladura (2).....	51
Figura 42. Resumen de algunos datos principales.	51

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Condiciones meteorológicas.	35
Tabla 2. Datos de temperatura mensual promedio en el periodo comprendido entre 1993 y 2012.	36
Tabla 3. Características geomecánicas del macizo rocoso.	37
Tabla 4. Explosivos y accesorios.	39
Tabla 5. Parámetros de diseño de voladuras.....	40

INTRODUCCIÓN

La revolución informática a partir de los años 60 ha introducido cambios en muchos aspectos de la sociedad. El desarrollo científico y tecnológico resulta uno de los campos más golpeado por la enorme capacidad de cálculo de los ordenadores, cada vez más accesibles a la población y, particularmente, a los investigadores. Las ingenierías no han sido una excepción, las mismas aprovechan esta capacidad, siendo sometidas a una serie de cambios que proporcionan nuevas formas de trabajo diferentes a los tradicionales.

El tratamiento de los datos para el diseño de caminos es un caso donde la evolución ha sido especialmente llamativa. En este sentido, las concepciones tradicionales, acerca del diseño de cantera y la forma de trabajo se han visto profundamente transformadas. En los últimos años la información minera se complementa con la integración de la misma en los softwares creados para el diseño de canteras, caminos y carreteras.

En este contexto la competitividad entre las empresas mineras que explotan los recursos minerales a cielo abierto, ha exigido que estas sean más eficientes en sus procesos y eficaces en sus resultados. Para obtener el mejor rendimiento posible, la política consiste en aprovechar con racionalidad los recursos, por lo que se requiere de una buena planificación de las acciones, que permitan realizar proyectos mineros en base a las realidades objetivas de cada empresa. (Hechavarria, 2013)

Para el cálculo y diseño de voladuras a cielo abierto como parte de un proyecto minero, existen diferentes procedimientos, los cuales en el pasado eran realizados manualmente. En la actualidad se han creado softwares mineros que nos permiten realizar estos diseños con mayor rapidez y precisión, uno de ellos es el software SHOTPlus.

A partir del año 2017 la Empresa Minera del Caribe S. A (EMINCAR) adquirió dicho software, el mismo disminuye el consumo de tiempo y recurso, y posibilita realizar el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto

con una mejor representación gráfica, a partir de que el software permite diseñar en dos y tres dimensiones.

La utilización de este software de última generación en la empresa EMINCAR presenta las siguientes limitaciones en su utilización:

- 1- La falta la capacitación de los Ingenieros de Minas de la empresa en el tema del manejo del software SHOTPlus.
- 2- No se cuenta con un documento guía para el manejo del software.

Por tal motivo surge la necesidad de elaborar un procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con la utilización del software SHOTPlus, lo que constituye el **problema científico** de este trabajo de diploma.

El **Objetivo General** del trabajo es: elaborar un procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura con la utilización del software SHOTPlus que permita ser usado como herramienta de trabajo a los Ingenieros en Minas.

La **Hipótesis** se basa en que: si se analiza la situación actual del tema, se caracteriza el campo de aplicación del software SHOTPlus, se establece el algoritmo que permite la utilización del software para graficar el pasaporte de perforación y voladura en minas a cielo abierto y este se aplica a un caso de estudio; entonces es posible elaborar un procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con la utilización del software SHOTPlus.

Objetivos Específicos:

1. Analizar la situación actual del tema.
2. Caracterizar el campo de aplicación del software SHOTPlus.
3. Establecer el algoritmo que permite la utilización del software SHOTPlus para graficar el pasaporte de perforación y voladura en minas a cielo abierto.

4. Aplicar a un caso de estudio el algoritmo propuesto.

El **objeto de estudio** lo constituye el software SHOTPlus, y el **campo de acción** el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con el empleo de dicho software.

Para el cumplimiento de los objetivos previstos se aplicaron **métodos teóricos** y **métodos empíricos** de la investigación científica. Entre los métodos teóricos se emplearon los siguientes:

Histórico-lógico: se utilizó durante el período de revisión y análisis de documentos lo cual permite definir los principales antecedentes del tema.

Análisis-síntesis: se empleó en el estudio de las partes del objeto y para comprometer su comportamiento como un todo.

Inducción-deducción: como procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo general a lo particular.

Como **métodos empíricos** se utilizan; **la observación científica, la medición, la consulta a expertos y la compilación de información** para el conocimiento de las características fundamentales del objeto de estudio.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

En medio de las transformaciones que se realizan al Modelo Económico Cubano, cada medida que se tome con el objetivo del ahorro, tiene un gran impacto económico y social. Es por eso que todas las empresas de ingeniería y proyecto del país centran su atención en la disminución del tiempo de diseño en los proyectos, debido al alto valor económico que representa para el estado.

El presente capítulo se dedica al análisis de los principales referentes teóricos sobre el diseño de los procesos de minas y terminologías utilizadas en el software SHOTPlus. Para ello se relacionan un conjunto de investigaciones que permiten determinar los antecedentes del tema, así como su actualidad. Al mismo tiempo se exponen las características del software SHOTPlus, lo que permite comprender con mayor facilidad su uso y manejo.

1.1 Antecedentes y estado actual de la temática

El diseño de canteras considera entre otras las siguientes fases: selección del método de explotación, dimensionamiento geométrico de la cantera, determinación del ritmo anual de producción, la ley de corte, la secuencia de extracción y el diseño del pasaporte de perforación y voladura.

Antiguamente, los ingenieros realizaban el diseño las minas de forma manual, una vez verificado los cálculos por las metodologías existentes, llevaban los resultados a planos mediante la utilización de diferentes técnicas de dibujo. Por lo general, los planos estaban georreferenciados, y el dibujo se hacía en mesas especializadas, las cuales contaban con una serie de instrumentos, como son: reglas, tecnógrafo, compás y centropén. El uso y manejo de ésta técnica era muy tediosa para los diseñadores, por esa razón un proyecto demoraba mucho en realizarse, los gastos de materiales y de recursos eran muy elevados, así como la probabilidad de cometer errores técnicos (Caballero, 2013).

Existen investigaciones referentes al diseño de canteras, entre ellas se encuentra la de Almanza (1994); en donde se aborda la organización del diseño de cantera, los datos iniciales de la misma, así como la importancia de los contornos y la

productividad del yacimiento y Recio (2001) en la cual se destacan los parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de realizar la explotación. En estos trabajos todos los gráficos se realizaron a mano lo que conllevó a un mayor tiempo de trabajo.

En correspondencia con el modelo geológico minero tenemos a Herbert (2007) que muestra la necesidad de realizar una adecuada caracterización del modelo geológico para optimizar la geometría, establecer la planificación de las labores, el control y previsión de la calidad de minerales permite la factibilidad del proceso de explotación.

En las canteras de áridos de Cuba los parámetros de los trabajos de voladura se han calculado siguiendo las metodologías de la antigua Unión Soviética (Noguel 1998), fundamentalmente la que calcula la línea de menor resistencia (W) teniendo en cuenta el diámetro de perforación, la densidad de carga, la capacidad de trabajo de la sustancia explosiva (SE), la densidad y el agrietamiento de las rocas. El diseño gráfico de estas metodologías se realizaba a mano, lo que implicaba un mayor tiempo empleado en este diseño gráfico.

El primer trabajo que realiza un estudio analítico y experimental de la acción de la explosión en el macizo, en Cuba, fue realizado por Noguel (1984). En el mismo se realiza una investigación analítica del estado tensional del macizo por la línea de cargas de cordón detonante en agua y tiene en cuenta otros parámetros, este trabajo no considera la realización del diseño gráfico de voladuras con la utilización de software.

Posteriormente, en el trabajo de perfeccionamiento de las voladuras en el yacimiento de calizas XX Aniversario realizado por Jaramillo (1999), realizó un análisis del agrietamiento del macizo y el tamaño de los bloques formados, así como una investigación analítica de la acción de la explosión en el macizo de rocas, a partir de la cual se plantearon los parámetros de la explosión, que fueron ajustados mediante explosiones experimentales, logrando disminuir la salida de pedazos grandes de forma considerable, pero en las mismas no se considera la

realización del diseño gráfico del pasaporte propuesto con la utilización de software, cuestión que consideramos en el presente trabajo.

Alexandre (2006), elaboró una metodología para el diseño de los patrones de voladura, que fue validada en investigaciones experimentales en la Cantera “El Cacao” de la provincia de Granma, lográndose reducir la salida de pedazos sobre medida, este autor no consideró el diseño gráfico del patrón de voladura propuesto con la utilización de un software, lo que le hubiera ahorrado tiempo con respecto al diseño gráfico manual.

Los trabajos de Caballero (2013) y Fernandes (2014) abordan la temática del diseño de procesos mineros utilizando las herramientas que brinda el software Gemcom el primer autor propone un procedimiento para el diseño geométrico de cantera, este autor solo consideró los parámetros para el diseño geométrico de canteras y no tuvo en cuenta los elementos fundamentales para graficar el pasaporte de perforación y voladura, y el segundo autor propone un procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con la utilización del software Gemcom, este software es bastante completo pero cuando se utiliza para realizar el diseño del pasaporte de perforación y voladura no brinda información sobre los posibles resultados de la voladura lo que pudiera ser de gran importancia para encontrar posibles errores y realizar cambios en este proceso ,y así realizar un excelente trabajo en el campo. Este último trabajo sirvió de guía para considerar los elementos fundamentales de la creación del algoritmo a proponer en nuestra investigación.

1.2 Conceptualización de los parámetros utilizados en el diseño de voladuras en cantera

En el cálculo y diseño de voladuras las variables que son controlables se clasifican en los siguientes grupos:

- A. Geométricas (Diámetro, longitud de carga, piedra, espaciamiento, etc.)
- B. Químico-Físicas o del explosivo (tipos de explosivos, potencia energía, sistemas de cebado, etc.)
- C. De tiempo (tiempos de retardo y secuencia de iniciación)

A continuación en la figura 1, se muestran las variables de diseño de una voladura y su ubicación (Figura 1).

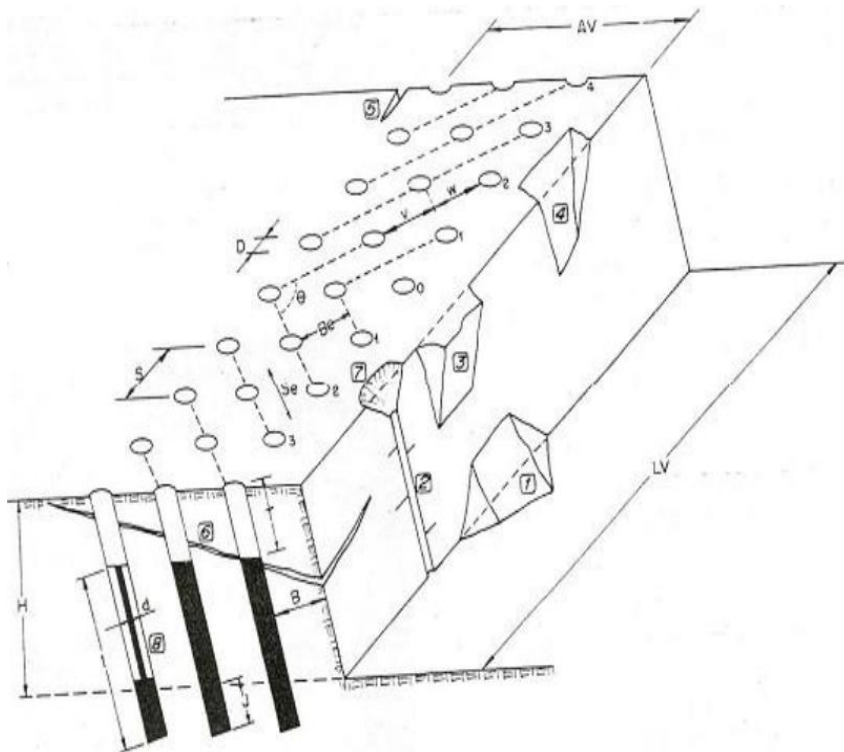


Figura 1. Esquema de voladura en un banco.

1.3 Factores que influyen en el diseño de voladuras

En el diseño de voladuras hay que considerar varios factores tanto técnicos como de propiedades del macizo, los cuales son importantes para lograr una voladura optima, a continuación haremos una breve reseña de estos factores.

El diámetro de perforación idóneo para un trabajo dado depende de los siguientes factores:

- Características del macizo rocoso que se desea volar
- Altura de banco y configuración de las cargas
- Economía del proceso de perforación y voladura
- Dimensiones del equipo de carga

Altura del Banco

La rigidez del paralelepípedo de roca situado delante de los barrenos tiene una gran influencia sobre los resultados de las voladuras. Cuando la relación es grande, el desplazamiento y deformación de la roca es fácil, particularmente en el centro del banco.

Inclinación de los barrenos

En las voladuras en banco la perforación inclinada presenta numerosas ventajas, pero también algunos inconvenientes que deberán ponderarse en cada caso particular. Habitualmente, con equipos de perforación rotopercutivos los barrenos son inclinados, pero en las grandes minas a cielo abierto donde se utilizan perforadoras rotativas la tendencia parece dirigirse hacia los barrenos verticales.

Retacado

Es la longitud del barreno que en la parte superior se rellena con un material inerte y tiene la misión de confinar y retener los gases producidos en la explosión para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca. Si el retacado es insuficiente se producirá un escape prematuro de los gases a la atmosfera, generándose problemas de onda aérea y riesgo de proyecciones. Por el contrario, con un retacado excesivo se obtendrá gran cantidad de bloques procedentes de la parte alta del banco, poco esponjamiento de la pila de material y un nivel de vibración elevado.

En la determinación del retacado, se deben tener en cuenta:

- El tipo y tamaño del material utilizado.
- La longitud de la columna de retacado.

Sobre perforación

Es la longitud de barreno por debajo del nivel del piso que se necesita para romper la roca a la altura del banco y lograr una fragmentación y desplazamiento adecuado que permita al equipo de alcanzar la cota de excavación prevista.

Si la sobre perforación es pequeña no se producirá el corte en la rasante proyectada, resultando la aparición de repies con un considerable aumento de los costes de carga.

Pero si la sobre perforación es excesiva se producirá:

- Una fragmentación excesiva en la parte alta del banco inferior, que provocara problemas en la perforación del mismo y afectara en las zonas finales de corta a la estabilidad de los taludes.
- Un aumento de los costes de perforación y voladura.
- Un incremento del nivel de vibraciones.
- Un aumento del riesgo de descabezamiento y sobre excavación al acentuarse la componente vertical de desplazamiento de la roca.

Piedra y espaciamento

Es la distancia mínima desde el eje de un barreno al frente libre y el espaciamento es la distancia entre barrenos de una misma fila. Estas variables dependen básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de las rocas y de los explosivos, de la altura del banco y del grado de fragmentación y desplazamiento del material deseado.

Las propiedades de la roca las cuales pueden afectar considerablemente a los resultados de la voladura son:

- Resistencia dinámica a la rotura
- Módulo de Poisson
- Estructura
- Módulos de elasticidad dinámicos
- Fricciones internas
- Densidad
- Porosidad

- Contenido de agua
- Dirección y magnitud de las tensiones naturales
- Fisuración y grado de alteración

De todos los factores citados que influyen en los resultados de las voladuras, en algunos será posible su variación y por siguiente la posibilidad de obtener consecuencias de su influencia, por el contrario, sobre otros factores es imposible actuar. De esta lista de variables que pueden influir sobre los resultados de una voladura, se deduce lo vasto que debe ser un trabajo que pretenda determinar la influencia de cada uno de estos factores en el resultado final de una voladura (Fernandes 2014).

1.4 Características del software SHOTPlus

SHOTPlus es un software de diseño, cronometraje y modelación para gestionar escenarios de voladuras complejas desarrollado por Orica Mining Services. Permite diseñar en espacios tridimensionales con el uso de los retrasos pirotécnicos de Exel tradicionales y los sistemas de voladura electrónica i-kon y UNITronic de Orica. Lo hace proporcionando una gama de herramientas y funciones fáciles de usar y altamente avanzadas.

La primera versión de SHOTPlus se desarrolló en 1991. Desde entonces, SHOTPlus ha pasado por cinco cambios principales. Esta última versión 5 marca un hito de 20 años de excelencia en el software de voladura de Orica.

El objetivo principal del software SHOTPlus es proporcionar las herramientas necesarias para diseñar, evaluar, visualizar, optimizar y analizar secuencias de iniciación de explosiones en aplicaciones de minería a cielo abierto y subterránea.

Este software nos brinda un entorno de diseño 3D completo, incluyendo la herramienta de rotación para ver los barrenos desde cualquier ángulo y proximidad, visualizando la cara de la explosión y el piso de perforación, simulaciones de voladura que resaltan cualquier problema y confirman la secuencia de temporización, antes de ejecutar la explosión, vistas horizontales y

verticales del perfil de voladura, para optimizar posiciones de voladura y para comprobar los problemas antes de perforar.

Tiene la facilidad de importar diseños de otros softwares para el diseño de minas, crear hojas de carga en Microsoft Excel y otros paquetes mediante la exportación de datos de carga, importación y exportación las plantillas que permiten simplificar las transferencias de datos rutinarios entre softwares.

Provee múltiples herramientas de diseño y planificación de minas a cielo abierto. La utilización de las herramientas permite rapidez en los procesos. Base de datos centralizada que administra los datos, los asegura, audita y elimina su redundancia, lo cual aumenta la integridad y exactitud de la información. Posee un flujo de datos optimizados, acceso centralizado y un incremento en la compactibilidad que mejora la colaboración y proporcionan información cuando las necesitan, lo que acelera el proceso de toma de decisiones.

1.5 Terminologías utilizadas en el software SHOTPlus

La terminología que emplea el software está en idioma inglés y español, es muy amplia y variada, algunas conocidas debido a que son parámetros considerados en la metodología de cálculo y diseño de un pasaporte de perforación y voladura. En este acápite se hará referencia a los términos menos conocidos que utiliza el software.

Blastholes: término en inglés que representa un barreno.

Bloque Resumen: es una ventana donde aparecen calculados algunos datos principales.

Pit: término en inglés que representa la cantera o mina a cielo abierto, se usa además para representar la superficie límite u óptima para la realización de la minería.

Clipping: zona a delimitar o recortar

Blast –Hole y orificio: son los barrenos diseñados

Pit Slope: es el ángulo del talud final de la cantera y variará, internamente en el diseño y de manera general, en dependencia del ancho de la berma y del ángulo de batería o paramento.

Angulo de iniciaciones: contornos de tiempos iguales en un mismo tiempo de explosión.

Nueva explosión: nuevo trabajo.

Despojo de Burden: ventana de cálculo que permite ver el retraso por alivio de carga del medidor (metros por milisegundo).

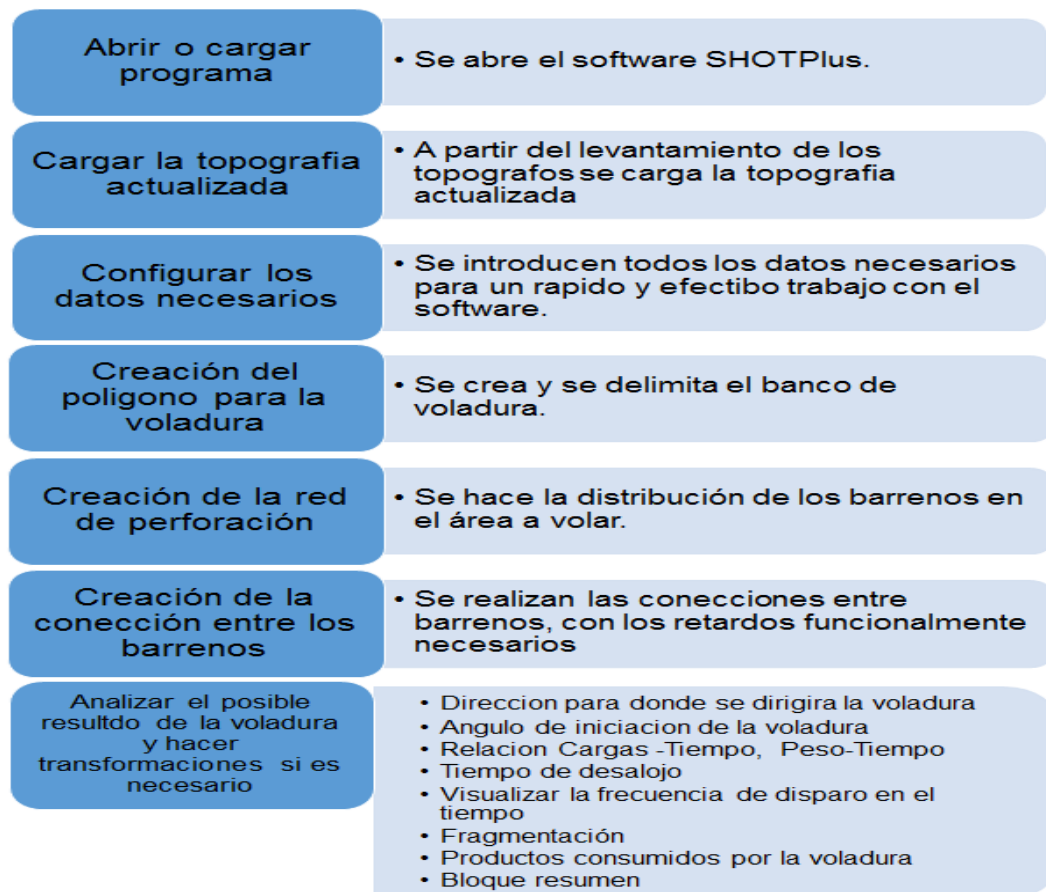
Orificio o agujero: término empleado para denominar a los barrenos.

Asistente de inicio: es la ventana donde inicio se muestra los archivos más recientes en los que ha trabajado; aparece cuando se abre el programa.

CAPITULO II. PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO GRÁFICO DEL PASAPORTE DE PERFORACIÓN Y VOLADURA A CIELO ABIERTO CON LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE SHOTPLUS

En este capítulo se ofrecen los pasos necesarios para lograr el correcto diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura utilizando el software Shotplus. A partir de las herramientas que proporciona el mismo, se elabora un procedimiento donde se tienen en cuenta las normas internacionales de diseño y la Ley de Minas de nuestro país, regida por la Oficina Nacional de Recursos Minerales. La nueva herramienta de trabajo constituye el principal aporte del presente capítulo el cual facilitará la labor de los ingenieros en minas de la Empresa Minera del Caribe (EMINCAR).

2.1 Flujo de trabajo para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura con el software SHOTPlus



2.2 Representación gráfica de los pasos para graficar el pasaporte de perforación y voladura con el software SHOTPlus

PASO 1. Abrir o cargar programa

Para lograr este paso hacemos clic en el menú **Inicio/Todos los programas/Orica /SHOTPlus** (Figura 2).

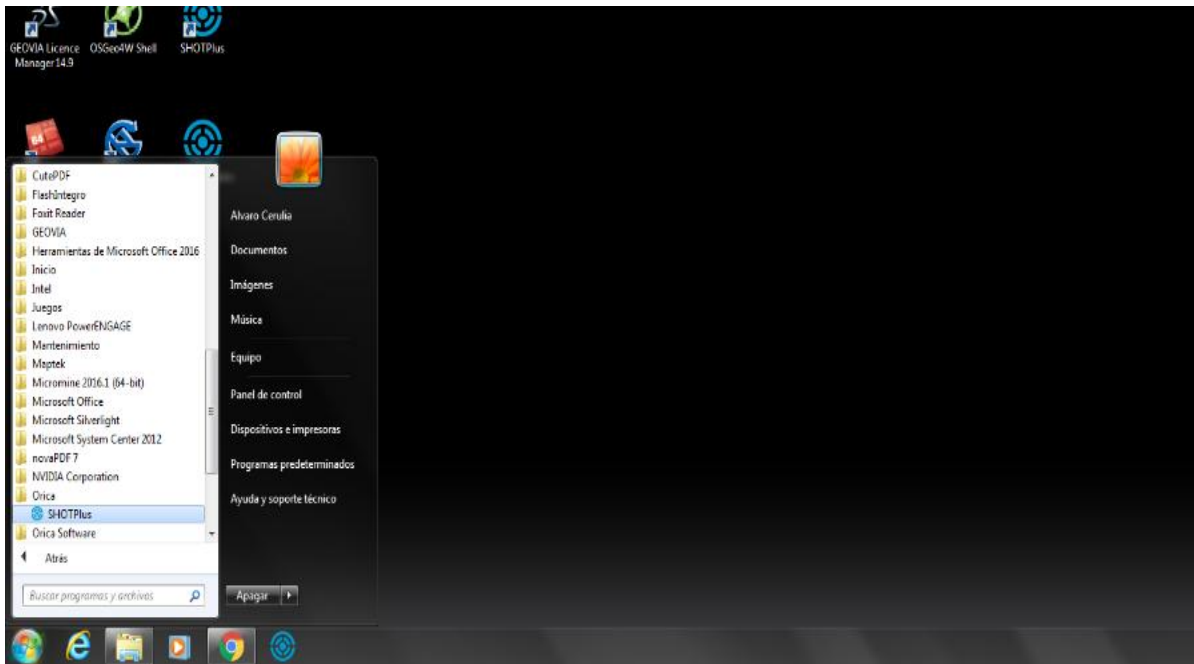


Figura 2. Abrir programa.

Si ya ha creado y guardado sus propios proyectos, el **Asistente de inicio** le muestra los archivos más recientes en los que ha trabajado y, por lo tanto, le brinda una forma rápida de comenzar su próxima sesión. Puede hacer doble clic en un archivo de la lista o seleccionar un archivo y hacer clic en **OK**. Alternativamente, puede seleccionar **Examinar** para encontrar otros trabajos en su computadora o hacer clic en el botón **Nueva proyecto** para crear un nuevo trabajo (Figura 3).

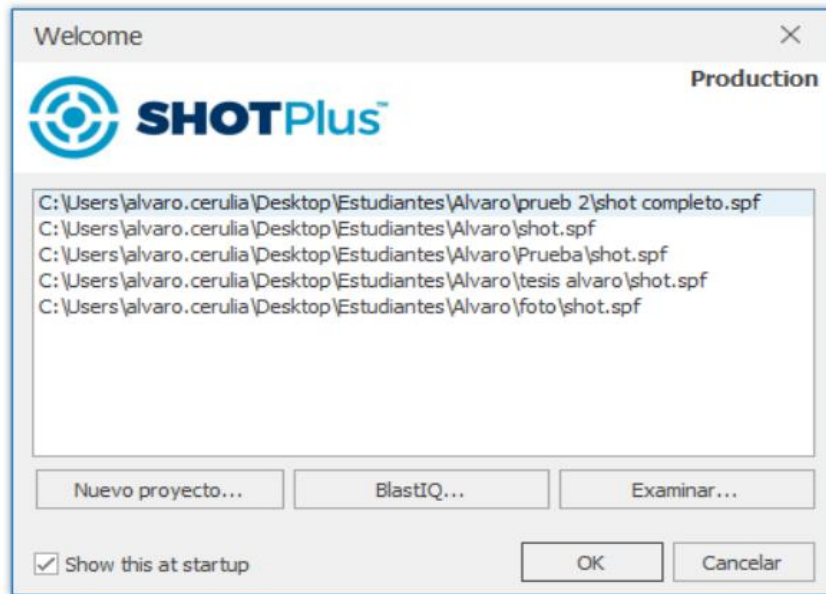


Figura 3. Archivos recientes.

Si hace clic en el botón **Cancelar**, iniciará SHOTPlus sin un proyecto actual, verá en el centro de la pantalla el comentario “No hay datos que mostrar”. Para abrir un archivo existente haga clic en **Archivo/Abrir** y seleccione un archivo de su administrador de archivos.

Pero si se va a abrir un nuevo archivo se hace dando clic en **Archivo/Nuevo** o haciendo clic en el icono **Nuevo documento** en la barra de herramientas principal.

Ambos métodos abrirán la ventana de diálogo Nuevo proyecto:

Esta ventana de diálogo solicita que ingrese los identificadores del proyecto, como el Título del proyecto explosivo (por ejemplo, 'Explosión de producción'), una Descripción más detallada del proyecto explosivo, el Autor del proyecto (su nombre), la Mina o cantera en la explosión que se implementará, la ubicación de la explosión en la mina y un Comentario opcional.

Cuando haga clic en **OK**, la plantilla se guardará en la biblioteca de documentos de SHOTPlus para un acceso futuro (Figura 4).

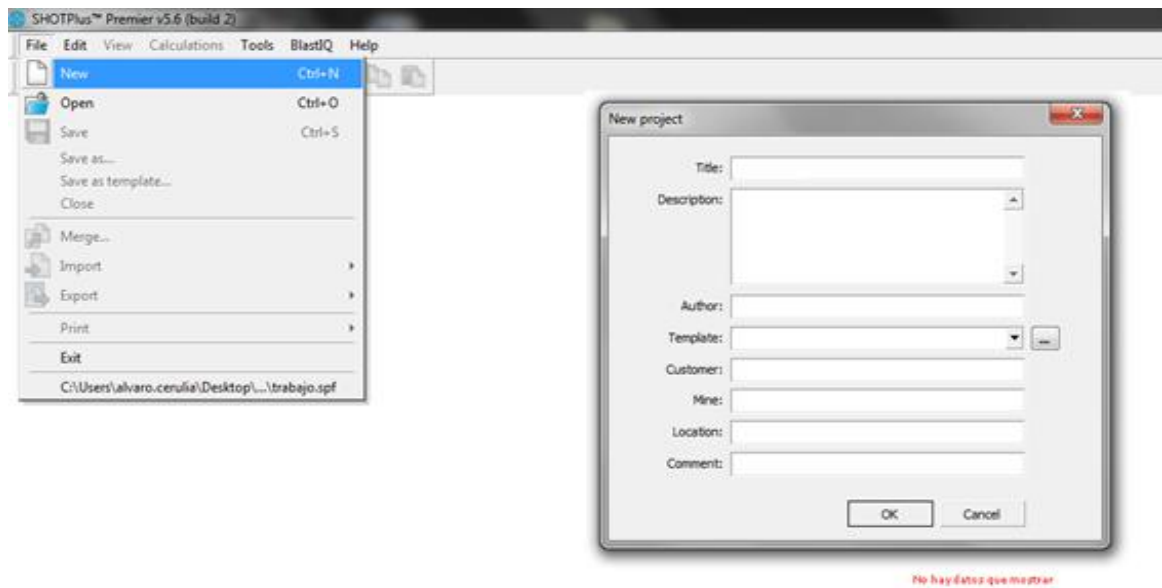


Figura 4. Identificación del proyecto.

PASO 2. Cargar la topografía actualizada

Para tener información de la mina se importa la base de datos topográfica actualizada que se encuentra en formato DXF. Para esto se da clip en **Archivo/Importar/DXF** y se muestra una ventana donde buscamos en el ordenador la base de datos topográfica actualizada de la mina (Figura 5).

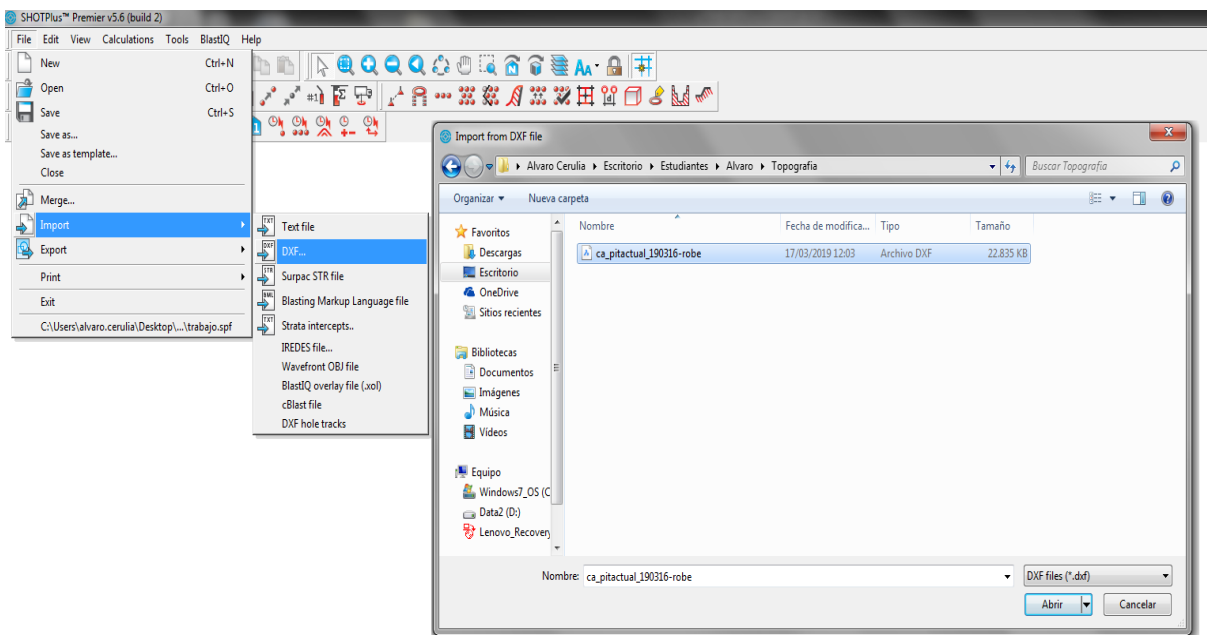


Figura 5. Importación de la topografía actualizada.

PASO 3. Configurar los datos necesarios

Antes de comenzar a diseñar, el ingeniero debe contar con una serie de información de partida, sin las cuales no podrá trabajar. Entre estas se encuentra el tipo de perforadora y el diámetro del barreno, el tipo de red de perforación y sus características, además de la carga explosiva con sus porciones según el tipo de red de perforación y el tipo de roca donde se realizara la voladura.

- Red de perforación

La función “Editar datos de diseño” le permite crear un conjunto de valores predeterminados de diseño de voladura para tipos de orificios específicos que se pueden aplicar automáticamente a los barrenos cuando se crean y colocan en el plano.

Los valores predeterminados de los datos de diseño se crean en función de los tipos de orificios. Después de ingresar los valores en cada uno de los campos en la ventana de diálogo de valores predeterminados de diseño de tipo de agujero, todo el conjunto se guarda contra ese tipo de agujero específico. Más adelante, cuando cree un orificio de voladura, tiene la opción de elegir qué tipo de orificio utilizar. Después de que se haya seleccionado el tipo de orificio, los parámetros de voladura almacenados contra ese tipo de orificio se aplican contra los parámetros reales de voladura.

Para editar los datos de diseño, haga clic en **Editar/Datos del diseño** y esto abre la ventana de diálogo de valores predeterminados de diseño de tipo de agujero que le permite editar y ajustar los valores predeterminados (Figura 6).

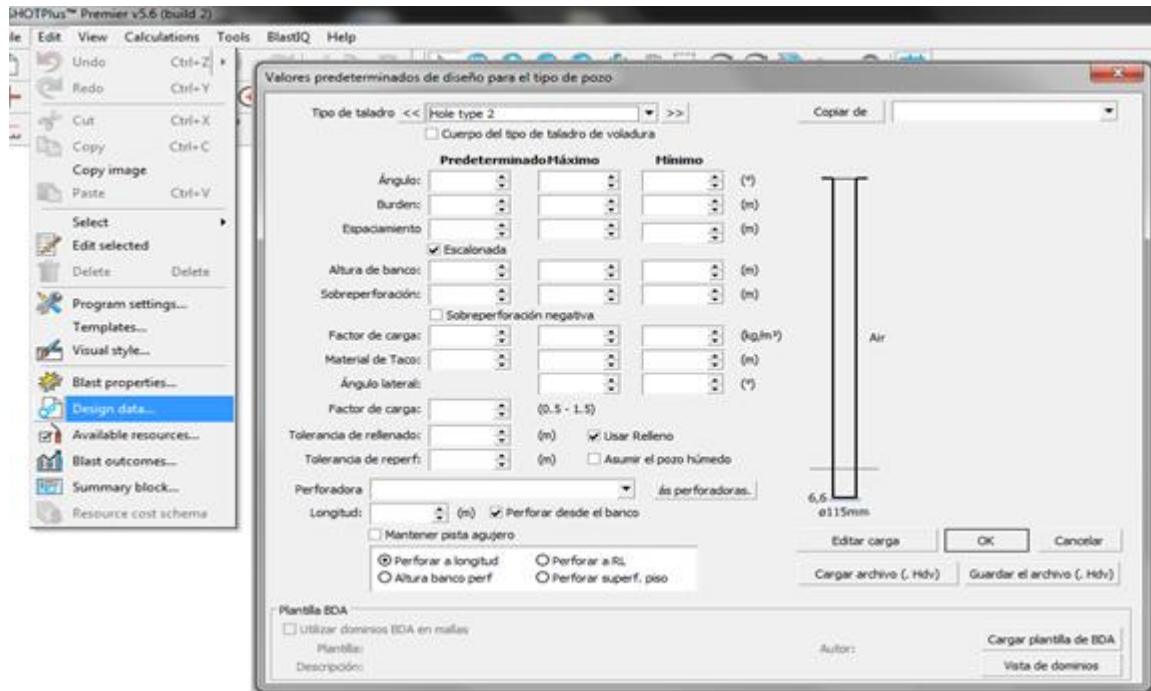


Figura 6. Configuración de los datos de los pozos.

Para editar la carga explosiva que se introducirá en cada barreno se da clip en **Editar carga**. Aquí se introduce el tipo y la cantidad de sustancia explosiva, junto con el relleno y el iniciador (Figura 7).

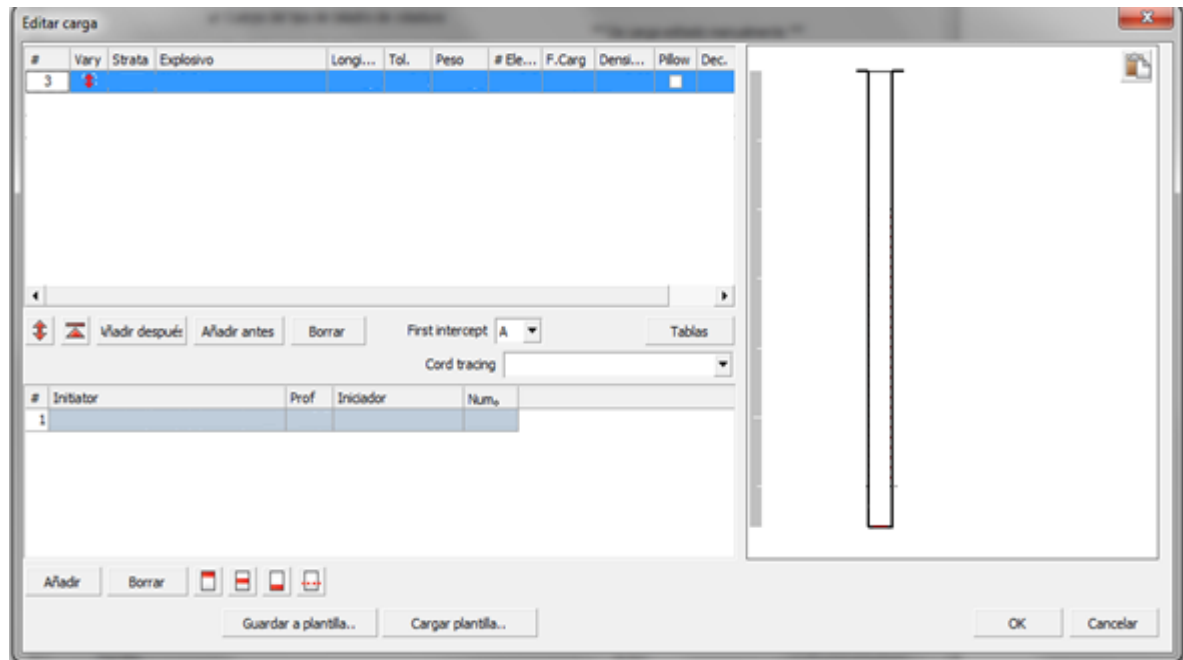


Figura 7. Edición de carga explosiva.

- Mineral o Roca

Para configurar el tipo de material donde se realizará la voladura; en la barra de menú principal, haga clic en **Herramienta/Rock manager**, esto abre una ventana donde se crean y editan las propiedades físico mecánicas de la roca (Figura 8).

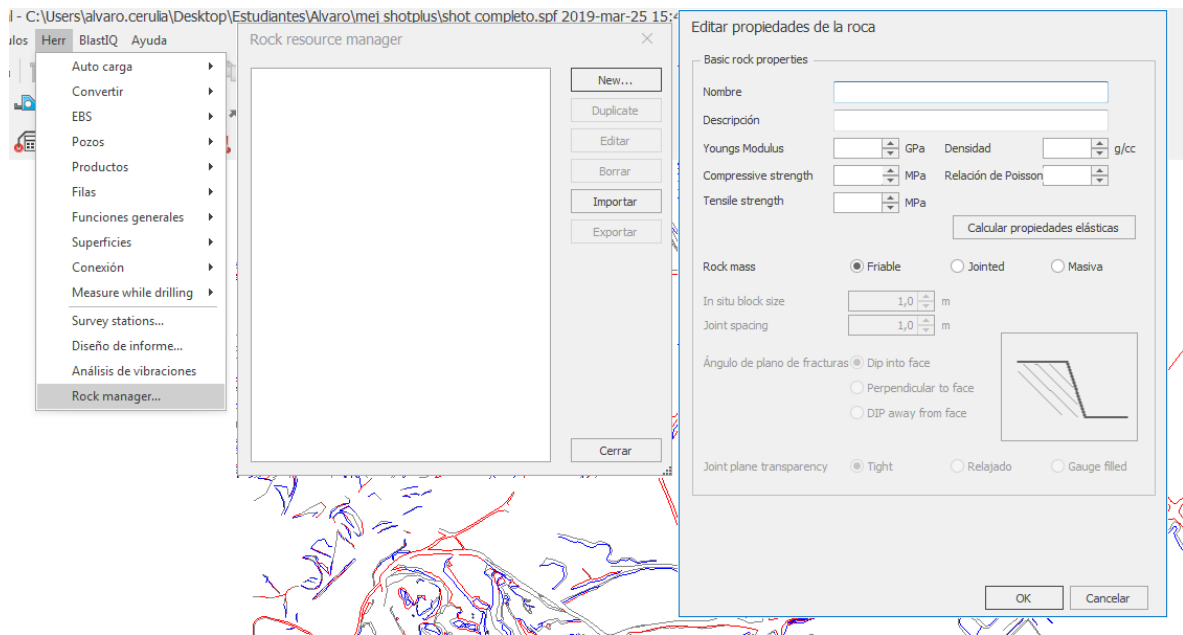


Figura 8. Configuración de los datos del mineral o roca.

PASO 4. Creación del polígono para la voladura.

La herramienta Polígono 3D le permite dibujar un polígono en la ventana de edición principal. Para comenzar a dibujar un polígono, haga clic en el icono de la herramienta **Polígono 3D** en la barra de herramientas y luego haga clic en la Ventana de Edición Principal en la posición en la que desea colocar un polígono. Comience a dibujar la forma del polígono moviendo primero el cursor en una dirección, y después hacer clic izquierdo en una nueva dirección. Puede cambiar de dirección varias veces y, por lo tanto, producir polígonos de varias formas y tamaños. Termina el polígono haciendo doble clic. El contorno del polígono ahora cambia de un contorno de puntos a un contorno sólido con las esquinas del polígono mostrando los puntos de control para una edición posterior. (Figura 9).

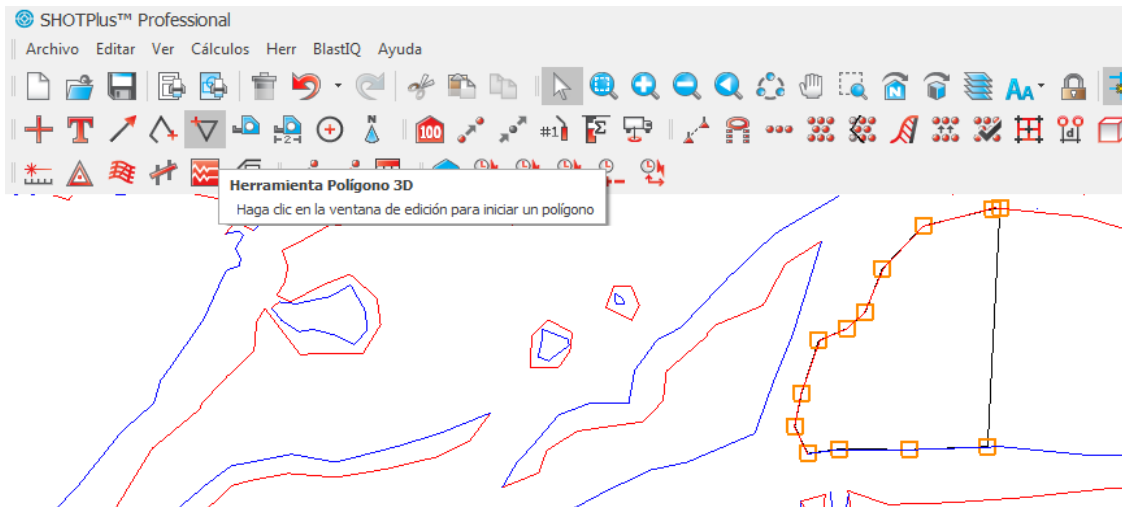


Figura 9. Creación de polígono

PASO 5. Creación de la red de perforación

Para crear la red de perforación se selecciona la herramienta **Añadir taladro**. Antes de que se pueda colocar un barreno en el plan, hay algunos parámetros que deben ajustarse para reflejar el barreno deseado o real en el banco. Los parámetros de inicio de voladura se basarán en la definición de Agujero tipo 1, que se realizó en el paso 3. En este punto, si lo desea, puede cambiar los valores de estos parámetros o puede seleccionar otro tipo de agujero para cambiar los valores iniciales. (Figura 10).

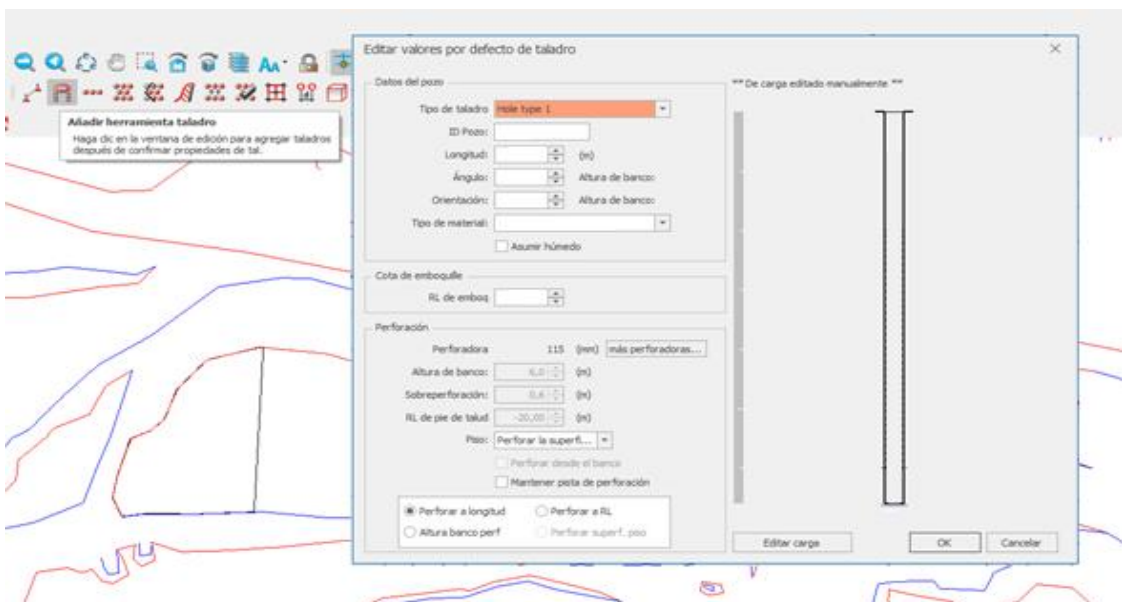


Figura 10. Edición de los datos para añadir un barreno.

Se selecciona aceptar y se introduce un barreno dentro del polígono, luego se cierra esta herramienta dando click derecho y seleccionando **Cerrar herramienta** (Figura 11).

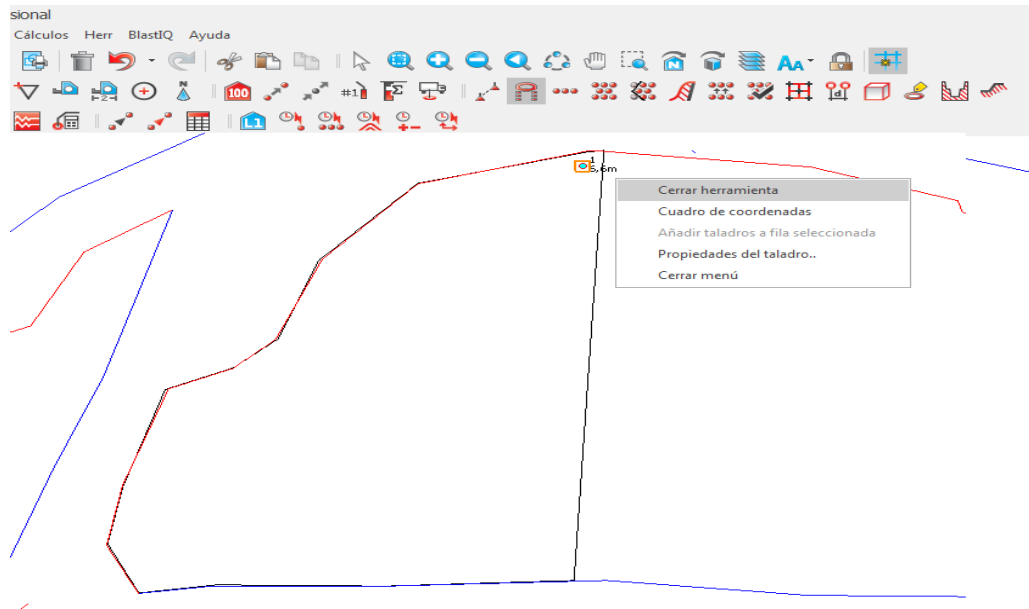


Figura 11. Añadir barreno.

Luego se selecciona la herramienta **Rellene polígono** aparece una ventana donde se selecciona en **Perforar desde:** el tipo de red de perforación que se va a utilizar y por orientación se acomoda según el punto de perspectiva del encargado del diseño (Figura12).

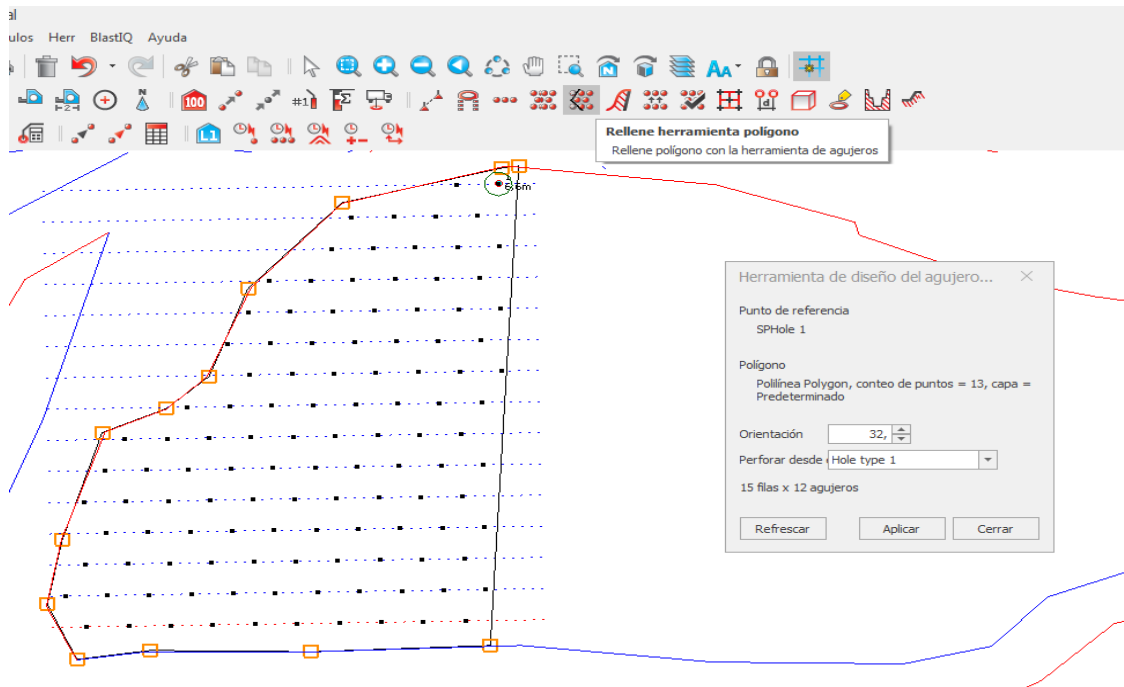


Figura 12. Rellenar el polígono con barrenos.

Si quedan espacios donde se desean hacer algunos barrenos auxiliares se selecciona la herramienta **Añadir taladro**, se le cambia el nombre en ID del pozo y se ubica donde se estima conveniente, luego cerramos la herramienta dando click derecho y **cerrar herramienta**. La representación de los barrenos obtenida en el software es dada a los topógrafos, estos realizan el replanteo en el frente de trabajo y con el resultado de dicho replanteo se actualiza la base de datos y se sigue el trabajo, agregando o quitando barrenos según lo replanteado.

PASO 6. Creación de la conexión entre barrenos.

Aquí se realizan las conexiones de la red de perforación. Para esto se selecciona primeramente la herramienta **Punto de inicio**, luego sale un cartel donde ponemos el retardo de la línea de iniciación. Luego de dar click en **Ok** ubicamos en que barreno se iniciará la voladura y cerramos la herramienta (Figura 13).

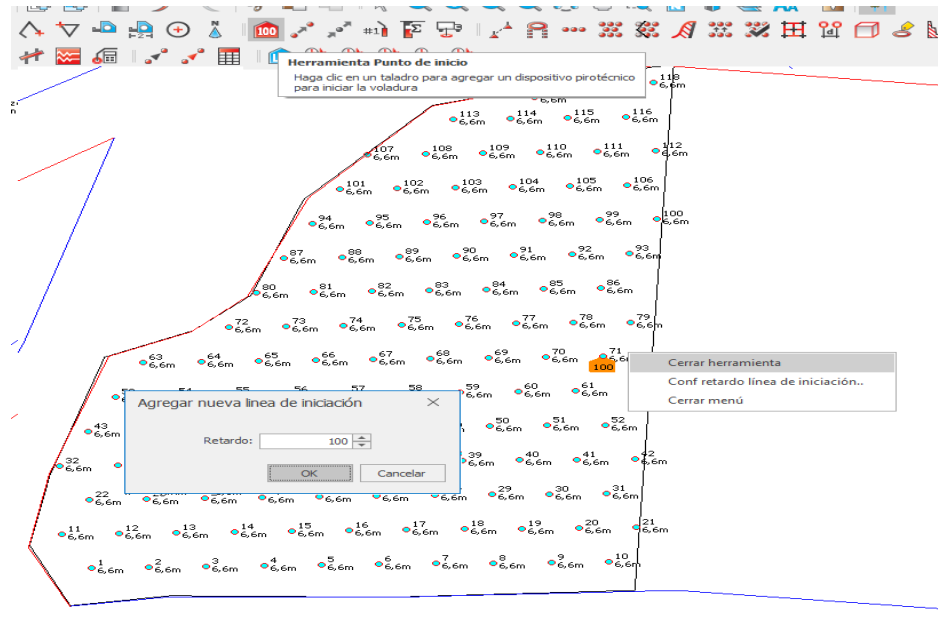


Figura 13. Punto de inicio.

Para hacer las conexiones seleccionamos la herramienta **Conexión**, esta se utiliza para agregar retrasos en la superficie. Los retrasos en la superficie se representan en el plan de voladura mediante flechas entre los orificios.

Para añadir un tipo de conector seleccionamos la herramienta **Producto**, que sale debajo de las herramientas de diseño, se abrirá una ventana en donde seleccionamos el tipo de conexión y su retardo (Figura 14).

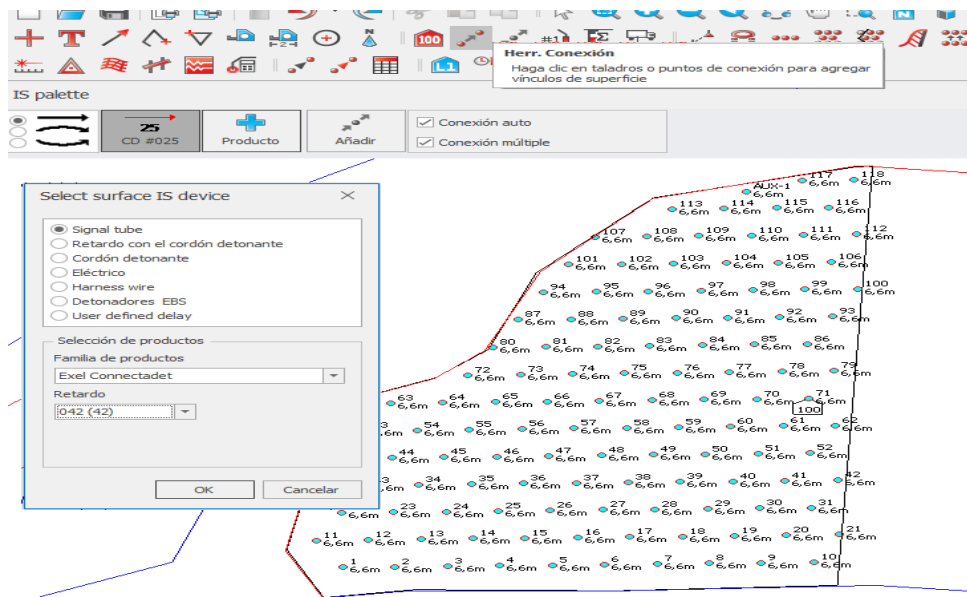


Figura 14. Conexiones y sus retardos.

Luego de seleccionado los tipos de conectores con sus retardos, iniciamos la conexión dando clip izquierdo en un barreno y conectándolo con otro; iniciándolo desde el barreno de inicio. Si se desea borrar alguna conexión esta se selecciona y se presiona la tecla suprimir (Figura 15).

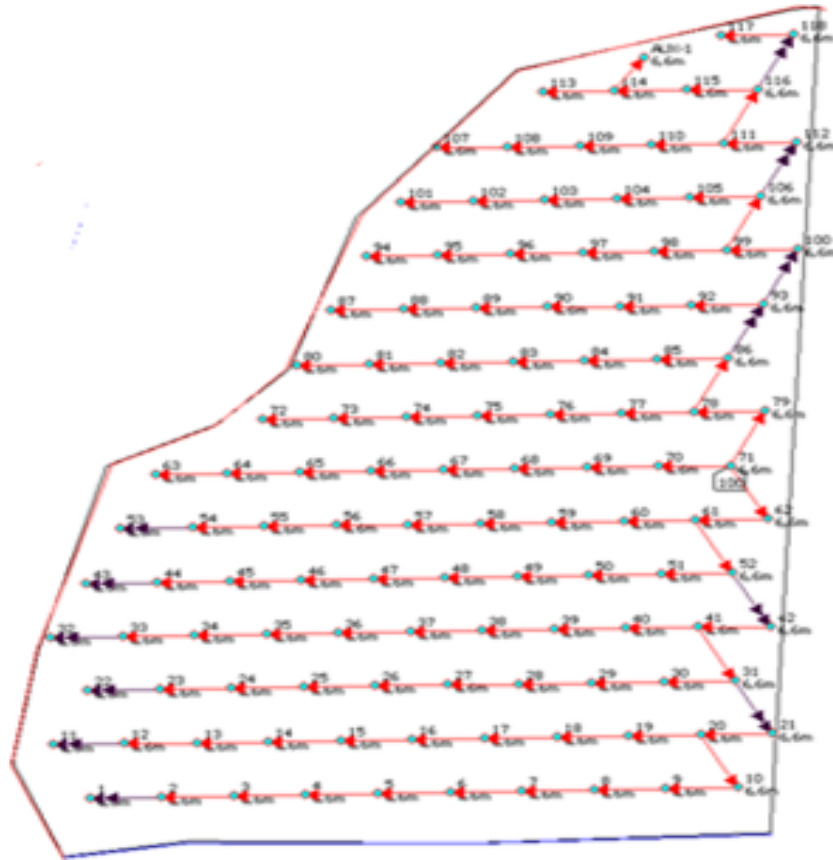


Figura 15. Resultado de las conexiones.

PASO 7. Analizar el posible resultado de la voladura y hacer transformaciones si es necesario.

1. Dirección de la voladura

Para esto se selecciona en la barra de menú principal **Cálculos/Primer movimiento**, luego nos saldrá una ventana con la posible dirección de cada barreno cuando se produzca la voladura (Figura 16).

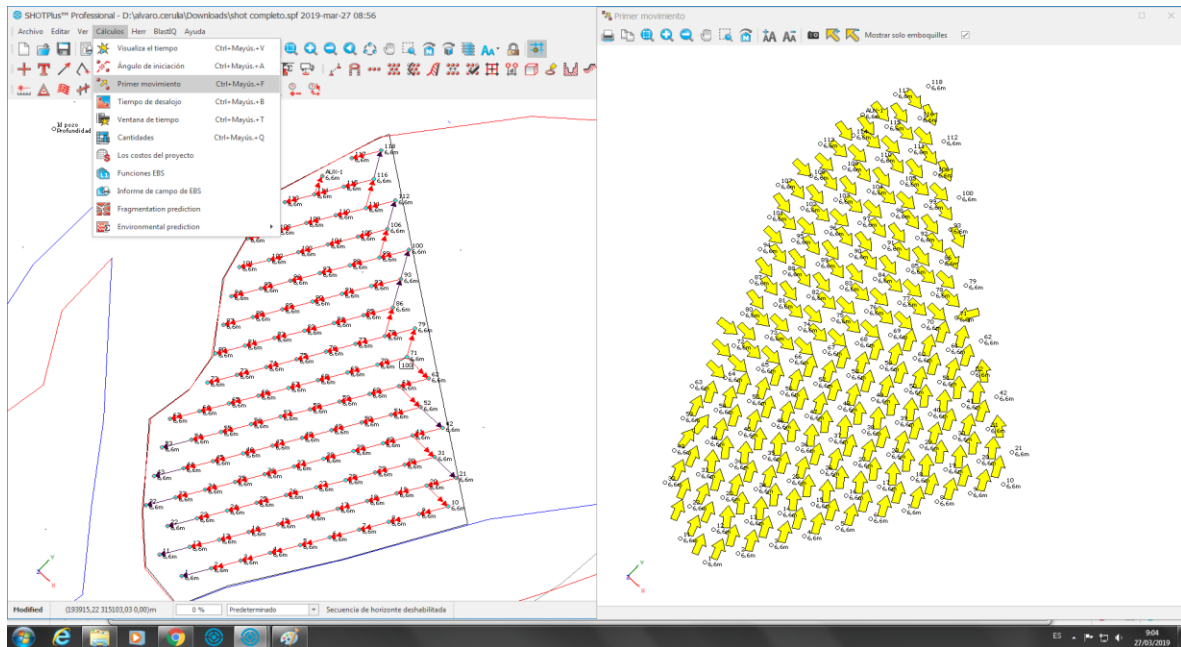


Figura 16. Dirección de la voladura.

2. Ángulo de iniciación de la voladura

Para visualizar los ángulos de inicio, en la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Ángulo de iniciación**. Esto abre la ventana **Ángulo de iniciaciones** que muestra contornos de tiempos iguales en el tiempo de explosión. En la ventana, todos los agujeros en la misma línea roja con el mismo número indican que se están disparando al mismo tiempo.

Puede definir sus propios intervalos de contorno desactivando la función **Auto** en la barra de herramientas e ingresando los valores deseados en el campo **Intervalo manual** (Figura 17).

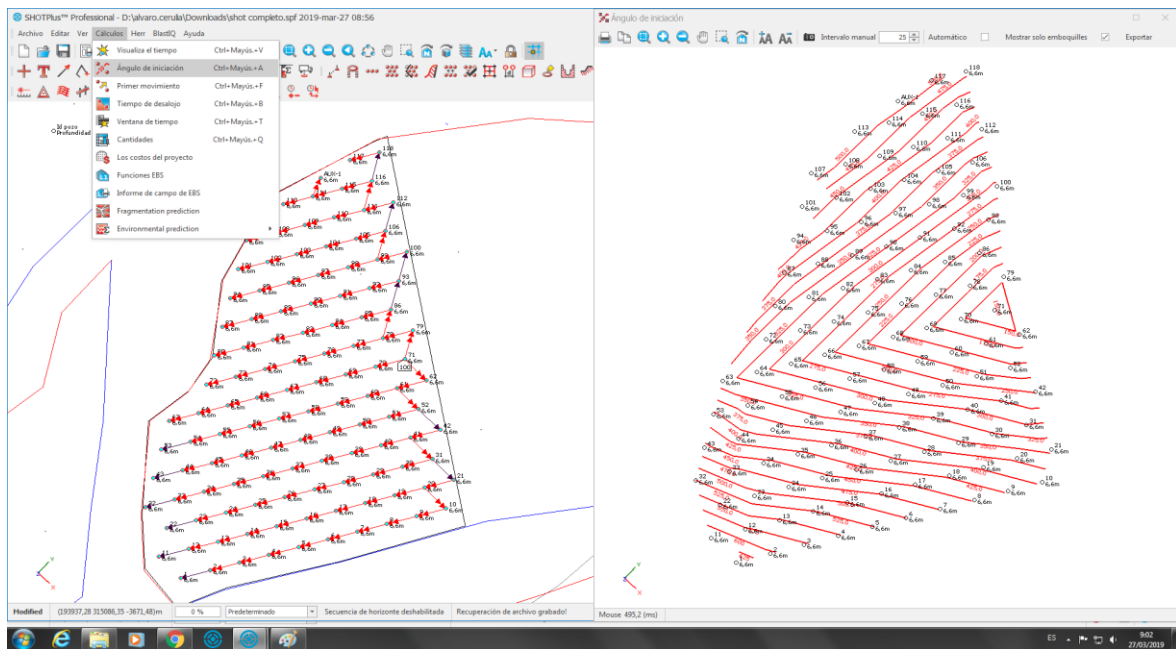


Figura 17. Ángulo de iniciación de la voladura.

3. Relación Cargas-Tiempo, Peso-Tiempo

Para visualizar la relación cargas-tiempo, peso-tiempo, en la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Ventana de tiempo**, esto abre la ventana **Envolvente de tiempo**. Esta ventana de cálculo funciona en 2 modos.

En primer lugar, permite ver la cantidad de agujeros que detonarán en una ventana de tiempo determinada, cada vez que hay un pico en el diagrama, se está disparando un agujero. El valor predeterminado se ha establecido en 8 milisegundos, lo que significa que un pico tiene 8 ms de ancho. Si hiciera el valor predeterminado más pequeño que 8 ms, encontraría que habría poca superposición entre los picos (Figura 18).

- (1) El eje inferior representa la línea de tiempo, mientras que el eje vertical representa el número de detonadores que terminan con el número máximo de demoras de detonadores que caen dentro de la ventana de tiempo establecida.
- (2) El segundo cálculo que proporciona esta ventana es calcular la Carga máxima instantánea (MIC) para una ventana de tiempo establecida. El MIC

se calcula en función de la ventana de tiempo, es decir la cantidad de sustancia explosiva detonada en un intervalo de tiempo.

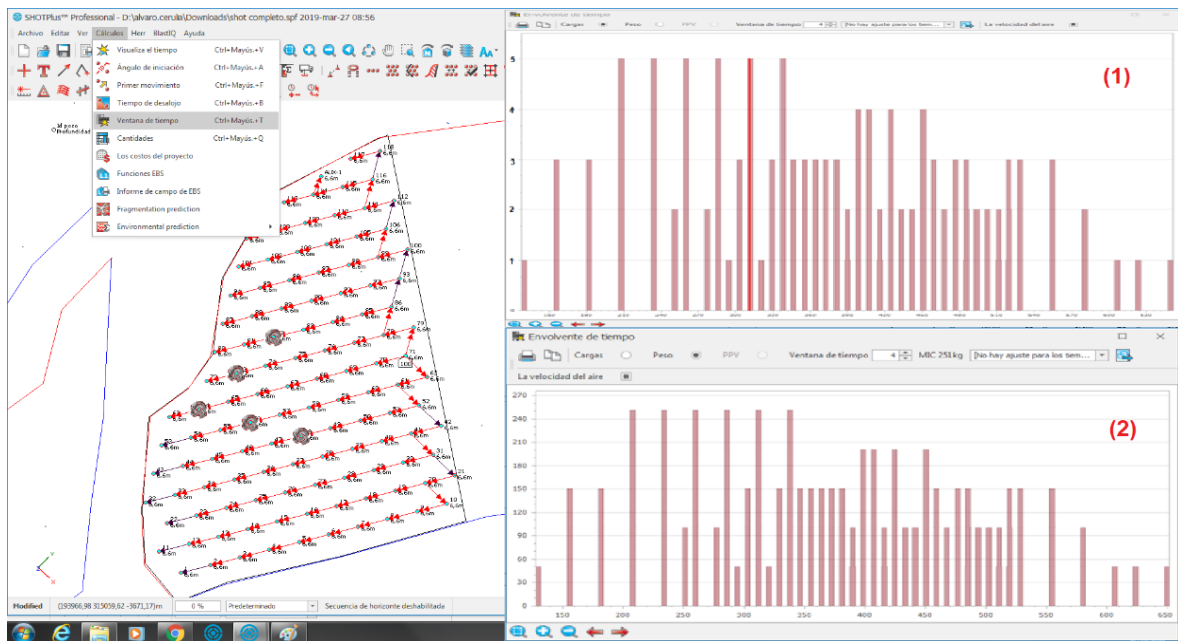


Figura 18. Relación Cargas-Tiempo, Peso-Tiempo.

4. Tiempo de desalojo

Para visualizar los tiempos de desalojo, en la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Tiempo de desalojo**, esto abre la ventana **Despojo de Burden**.

Esta ventana de cálculo permite ver el retraso por alivio de carga del medidor (metros por milisegundo). El límite superior de este cálculo se puede configurar manualmente usando los botones de flecha hacia arriba o hacia abajo situados al lado del cuadro de edición o escribiendo el número manualmente. Presione la tecla **Enter** después de que el número haya sido cambiado. Esto obligará a actualizar el cálculo de alivio de carga (Figura 19).

La idea es que no debe haber demasiada variación de color a lo largo de la explosión.

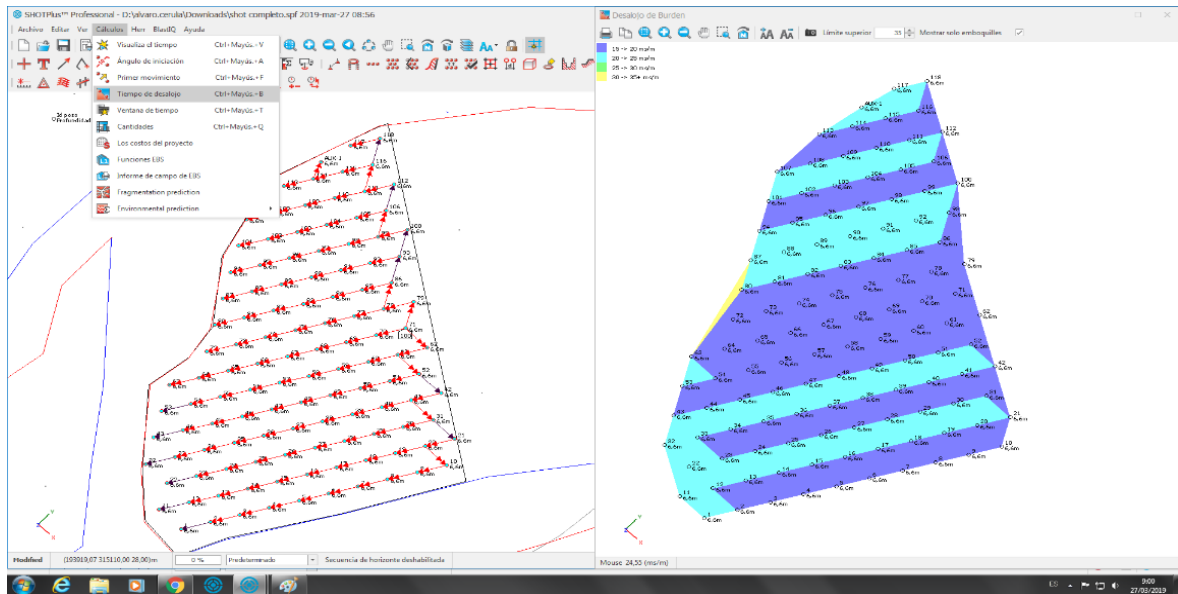


Figura 19. Tiempo de desalojo.

Si hay mucha variación de color a lo largo de la explosión, nos brinda la información de que la voladora traerá posibles afectaciones a la pared del talud por fuertes y desordenadas vibraciones, por lo que es necesario hacer transformaciones en las conexiones entre los barrenos.

Luego de hechas las transformaciones se analizan nuevamente el posible resultado (Tiempo de desalojo, Relación Cargas-Tiempo, Peso-Tiempo, Ángulo de iniciación de la voladura, Dirección de la voladura).

5. Visualizar la frecuencia de disparo en el tiempo

La funcionalidad de visualización de tiempo le permite ver la progresión de la explosión que diseñó desde el inicio hasta el final cuando se disparó el último de los detonadores.

En la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Visualiza** el tiempo. Esto permite realizar una serie de simulaciones del diseño de su voladura. Para iniciar la simulación, haga clic en las flechas de reproducción verdes en la barra de herramientas de la ventana de **Visualizar tiempo**. Puede definir la velocidad de la simulación seleccionando una de las cinco configuraciones de velocidad usando las flechas de velocidad hacia arriba y hacia abajo.

La sincronización de cada etapa en particular en la explosión se muestra junto a la ventana de la barra deslizante. Por lo tanto, puede determinar exactamente en qué punto de la explosión se encuentra en un momento dado y determinar si existe alguna posibilidad de interferencia entre disparos de orificios (Figura 20).

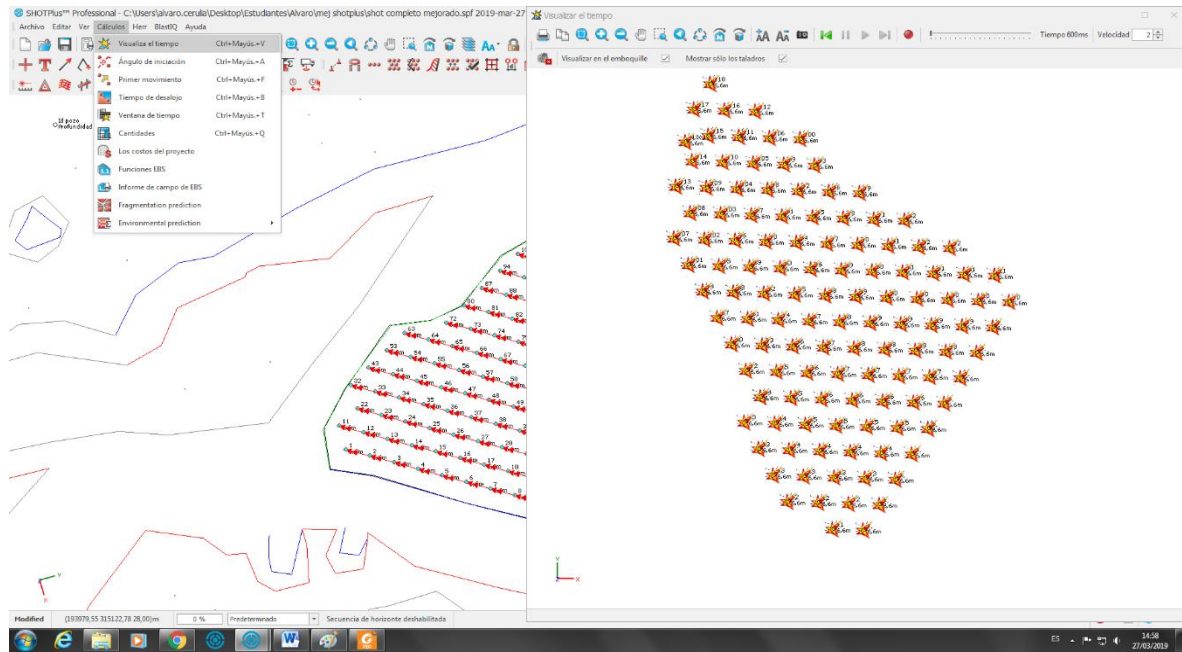


Figura 20. Frecuencia de disparo en el tiempo

6. Fragmentación

Para visualizar los posibles resultados de la fragmentación en la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Fragmentación**, esto abre una ventana donde se introducen todos los datos del pasaporte y luego se evidencian los posibles datos de la fragmentación en la gráfica que representa la granulometría en función del porcentaje de roca (Figura 21).

Trabajo de Diploma

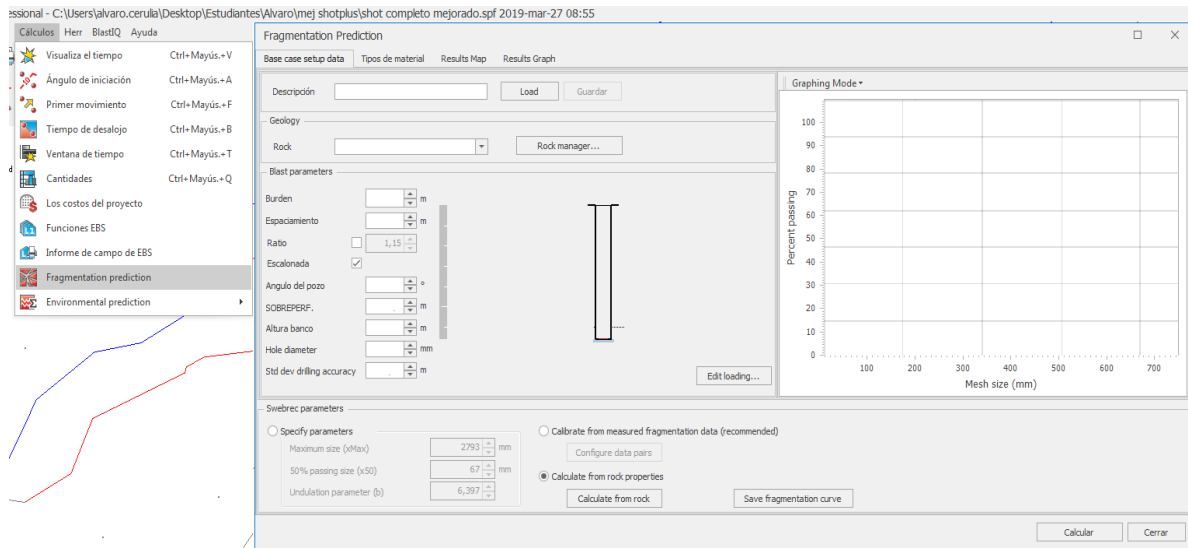


Figura 21. Fragmentación.

7. Productos consumidos por la voladura

Para visualizar los productos consumidos por la voladura, en la barra de menú principal, haga clic en **Cálculos/Cantidades**, esto abre una ventana donde se evidencian los productos consumidos y sus cantidades (Figura 22).

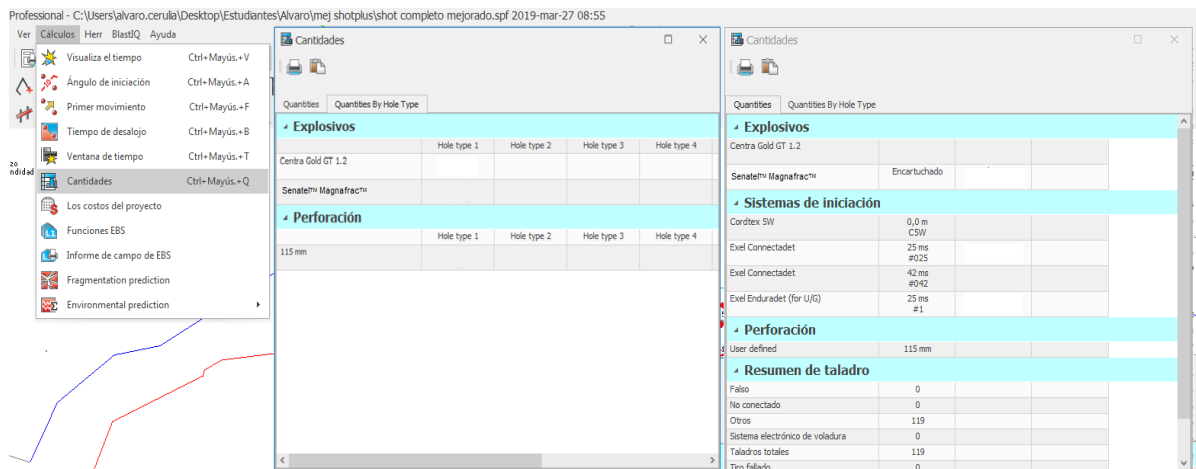


Figura 22. Productos consumidos por la voladura.

8. Bloque resumen

Para que salga el bloque resumen, en donde se muestran algunos datos generales de la perforación (burden, espaciamiento, sobre perforación, retacado, diámetro del taladro, número de taladros, ángulo de taladro, total de metros perforados y volumen de material a volar). Damos clic en la barra de menú

principal en **Editar/Summary block**, esto abre una ventana donde seleccionamos donde se representaran estos datos y seleccionamos **Calcular volúmenes de taladros** (Figura 23).

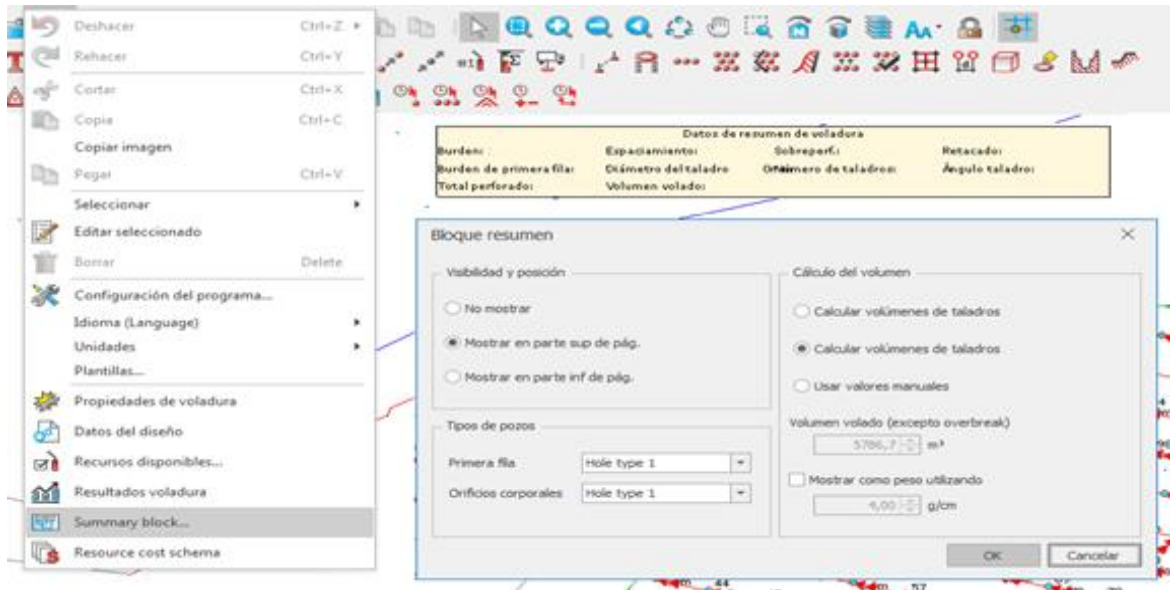


Figura 23. Datos generales de la perforación.

De cada voladura entonces deberán obtenerse planos mostrando la información de las mismas con la cual debe trabajar el siguiente personal:

Topógrafo: Debe recibir un plano con la ubicación de los blast holes, con su identificación y el polígono de la voladura.

Perforador: Uno igual al del topógrafo, en el cual el mismo va controlando el avance de los pozos realizados y ejecuta una breve descripción en cuanto a la dureza de las rocas o cualquier otro aspecto de interés que encuentre.

CAPITULO III. CASO DE ESTUDIO (YACIMIENTO CASTELLANOS)

En este capítulo se aplicará el procedimiento anteriormente planteado para realizar el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura en el yacimiento Castellano. Para lograr este diseño es necesario considerar las características del yacimiento y toda la información del pasaporte de perforación y voladura que se ejecutará a partir del proyecto de explotación del yacimiento.

3.1 Ubicación geográfica de la mina

La Mina Castellanos se encuentra localizada en el pueblo de Santa Lucía (Cuba), a 200 km al oeste de Habana, al noroeste de Pinar del Río. Se ubica a 3 km del mar, el acceso vía terrestre se hace por carretera pavimentada de segundo orden (Figura 24).

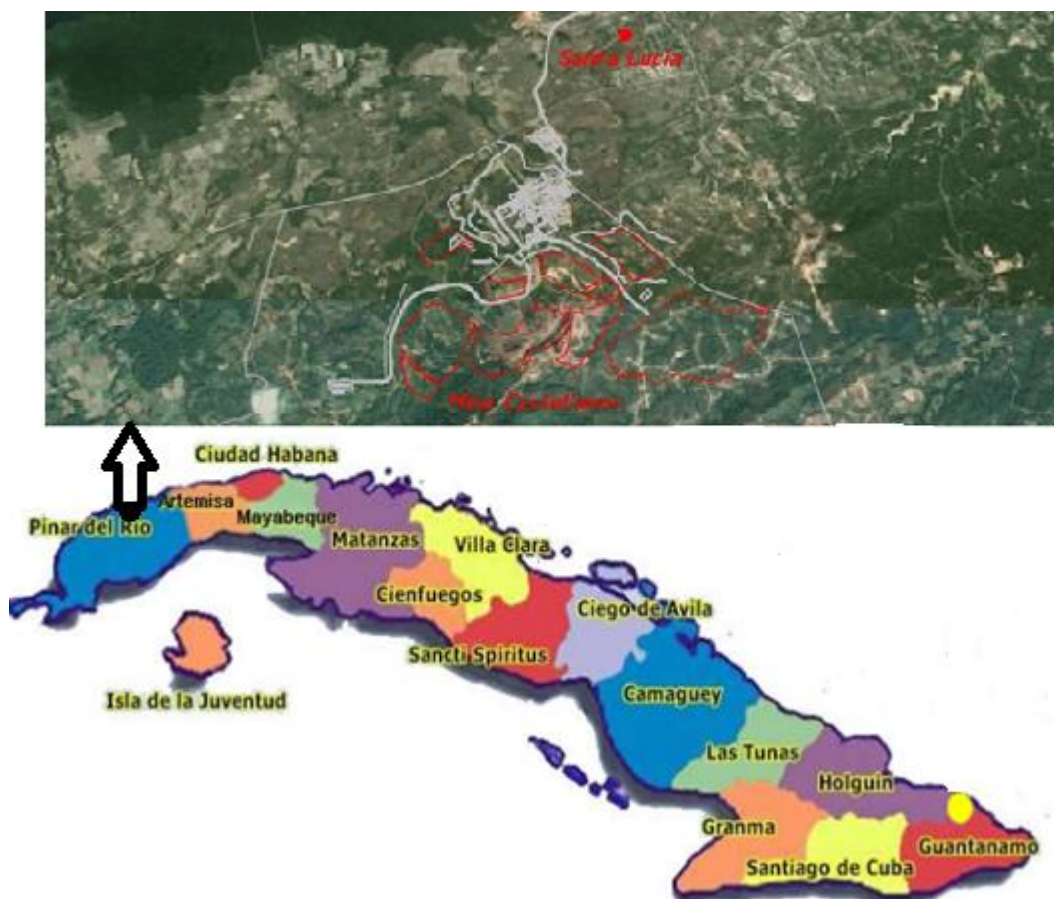


Figura 24. Ubicación del yacimiento Castellano

El yacimiento Castellano constituye uno de los diversos yacimientos de sulfuros masivos tipo sedimentarios exhalativos (SEDEX) de Pb y Zn localizados al noroeste de Pinar del Rio. Estos depósitos se encuentran alojados en la formación geológica San Cayetano perteneciente al Jurásico, que consiste en una alternancia de areniscas, limolitas y argillitas del Jurásico, con intercalaciones de lentejones de pizarras negras y capas de Calizas y Dolomías. Además, se observan varios yacimientos estratificados asociados de barita al suroeste.

Todos los yacimientos de Pb-Zn son estratoligados y estratiformes y se alojan en pizarras negras, que se presentan como lentejones de gran espesor cercados por areniscas, cuarzo, feldespáticas y limos.

El depósito polimetálico estratiforme de la Mina Castellanos mide aproximadamente 800 m de largo y hasta un máximo de 300 m de buzamiento descendiente. El rumbo varía ligeramente, con un acimut medio de 65° y un buzamiento medio de 50° hacia el noreste. El espesor del depósito puede variar entre 5 m y 76m (con un promedio de 18 m).

El cuerpo mineralizado puede estar compuesto de una simple unidad o de tres unidades controladas estratigráficamente, una encima de otra, separadas por rocas formadas por pizarras negras carbonosas, caliza y dolomita.

La principal clasificación litológica se basa en la posición del cuerpo y las unidades estratigráficas que rodean el área mineralizada, las cuales están conformadas por:

- Arenisca de la capa suprayacente debajo del área mineralizada, la cual está compuesta por una serie de areniscas silicificadas con intercalaciones subordinadas de limolitas y pizarras. La arenisca constituye casi el 70 % del grupo que ha sido alterado por silicificación, cloritización y sericitización. La mineralización consiste en la pirita y calcopirita asociada al área de stockwork debajo de la mineralización polimetálica.
- Pizarras de la capa suprayacente que yacen concordantemente sobre las areniscas del bloque subyacente y están intercaladas con la mineralización polimetálica. Estas pizarras son carbonosas y a veces calcáreas con diseminaciones de pirita. Es común la presencia de intercalaciones de

areniscas, dolomitas y calizas. Las dos últimas aparecen frecuentemente intercaladas con la mineralización. Las pizarras constituyen aproximadamente el 80 % a 90 % de la unidad. El contacto entre las rocas enbloquantes y la mineralización siempre es angular.

- Areniscas del bloque suprayacente muy similares a las encontradas en la capa suprayacente y que son consideradas como parte de la misma unidad litológica en un nivel estructural distinto. Estas areniscas se encuentran separadas de las pizarras del bloque suprayacente por una zona de cizalla de corrimiento discordante, la Falla Norte, que ha repetido la secuencia estratigráfica. La brecha de la falla de corrimiento se compone principalmente de bloques de serpentinita y forma un nivel guía. Las brechas pueden tener un espesor de hasta 60 m.

La figura 25 muestra un plano geológico del yacimiento Castellano.

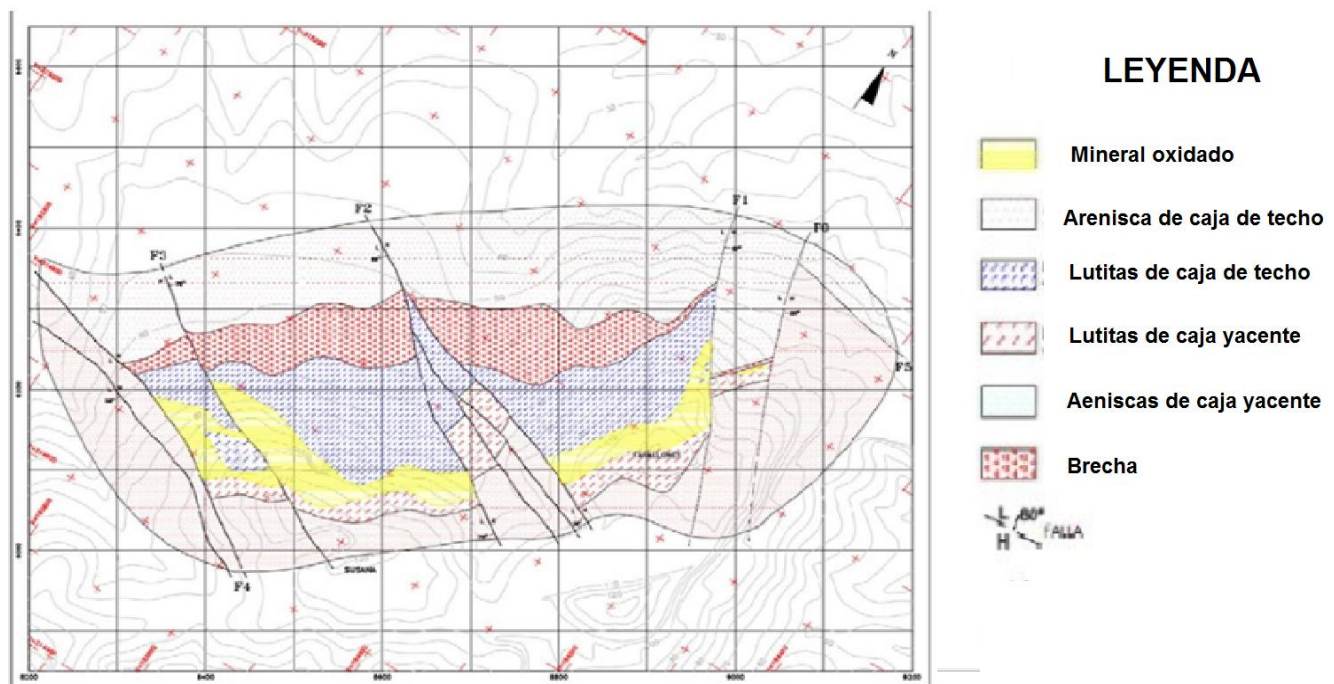


Figura 25. Plano geológico del yacimiento Castellano.

Los lentejones del cuerpo estratiforme mineralizado están conformados por sulfuros masivos, parcialmente bandeados (bandas individuales de hasta varios milímetros) y diseminados. Por lo general, la textura de la mineralización es fina y compleja. El intercrecimiento entre la pirita y los sulfuros de metales base es

intenso. Las zonas más gruesas están subordinadas y principalmente limitadas a la removilización local.

Los minerales de mena predominantes son principalmente la pirita (FeS) cantidades menores de esfalerita (ZnS), marcasita (FeS₂) y galena (PbS). Otros minerales presentes son pirrotina, melnikovita y calcopirita. El depósito presenta una estructura variable, entre masiva, bandeada y brechificada. El extremo Noreste del yacimiento se superpone a una zona con venillas de cobre.

3.2 Características hidrometeorológicas

Condiciones meteorológicas regionales.

La provincia de Pinar del Río presenta un clima de sabana tropical, el cual consiste en temporadas húmedas y secas bien distinguidas, de igual duración. La temporada seca en Pinar del Río ocurre desde diciembre hasta abril. Durante este periodo se presenta muy poca precipitación y las temperaturas se hallan alrededor de los 25°C promedio. Durante la estación húmeda el porcentaje de humedad aumenta y las probabilidades tanto de precipitaciones como de huracanes es mayor.

Condiciones meteorológicas locales.

Resumen de las condiciones meteorológicas, el punto de referencia es planta de procesos (Tabla 1).

Tabla 1. Condiciones meteorológicas.

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
País	-	Cuba
Poblado más cercano	-	Santa Lucía
Distancia al poblado más cercano	-	<3 km
Temperatura promedio:		
Mínima	°C	20,5
Máxima	°C	30
Precipitación promedio anual	mm	1450
Humedad relativa máxima	%	100

Temperatura.

Temperaturas promedio mensuales en el periodo comprendido entre 1993 y 2012 (Tabla 2).

Tabla 2. Datos de temperatura mensual promedio en el periodo comprendido entre 1993 y 2012.

	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Anual
Temperatura promedio													
°C	21,6	22,3	23,3	24,8	26,1	26,9	27,1	27,1	26,6	25,8	23,8	22,4	24,8

Hidrología del yacimiento.

El área estudiada se ubica en la vertiente norte de las Alturas de Pizarras del Norte y presenta un régimen pluviométrico caracterizado por una media anual de precipitaciones de 1400 mm.

Existen bien diferenciados estacionalmente en dos temporadas, una “húmeda”, con un 70 a 75% de las precipitaciones anuales, comprendida entre los meses de mayo y octubre, y otra menos lluviosa o “seca” que abarca los restantes meses del año hidrológico (noviembre a abril del año calendario siguiente).

El drenaje superficial condicionado por las tipicidades del relieve orográfico local, dominado por bajas elevaciones y una llanura costera terminal, está determinado por el régimen de alimentación pluvial predominante. En consecuencia, también cabe distinguir dos temporadas, claramente diferenciadas entre sí, por sus respectivas acuosidades y la magnitud relativa y origen predominante de los eventos extremos. Así se tiene que, durante la temporada de mayor acuosidad, las crecientes son más frecuentes y son provocadas por huracanes o por tormentas tropicales, mientras que, durante la temporada menos acuosa, predominan los caudales y niveles mínimos.

Los cálculos realizados en el informe de la exploración detallada del yacimiento (1975-1977) muestran que, en el balance general de la afluencia de agua a la futura cantera, predominan las precipitaciones atmosféricas. La potencia del equipo de bombeo de la cantera deberá determinarse, ante todo, por la necesidad de evacuar las aguas provenientes de las lluvias en su período correspondiente y en el de la influencia de ciclones tropicales.

A medida que comiencen y progresen las operaciones mineras, se deberán profundizar las investigaciones hidrogeológicas para el estudio de la presión de las aguas subterráneas de la mina con el fin de adquirir un mayor conocimiento de las condiciones hidrogeológicas.

3.3 Tectónica

El yacimiento se ubica entre fallas de corrimiento que varían de noreste a sureste. Estas fallas repiten la Formación San Cayetano. La principal zona de corrimiento que afecta el yacimiento es la Falla Norte, que consiste en una estructura estratigráfica subparalela bien desarrollada, que se puede identificar fácilmente entre los testigos, y está compuesta por milonita con serpentinita, gabro, arenisca y clastos de brechas de limolita. No coincide con los principales contactos litológicos al compararla con las areniscas y esquistos del contacto del bloque subyacente, y tiene un buzamiento que oscila entre 25 y 60° hacia el noreste. La Falla Norte tiene las areniscas del bloque suprayacente dentro del contacto con las pizarras del bloque suprayacente.

La Falla Sur que bordea el yacimiento Castellanos hacia el sureste no afecta la mineralización, pero podría afectar la zona de stockworks y el afloramiento de la Formación San Cayetano.

La fase final de la actividad tectónica asociada al yacimiento Castellano tuvo como resultado una serie de fallas inversas, normales y transversales que han fragmentado la zona mineralizada en una serie de bloques.

Todas las características del Yacimiento Castellanos expuesta anteriormente fue tomada de (Lauzier 2016).

3.4 Características geomecánicas del macizo rocoso según el tipo de roca.

Teniendo en cuenta las propiedades geomecánicas de las rocas a arrancar (Tabla 3), las propiedades hidrogeológicas y estructurales de la cantera, y la granulometría en la fragmentación requerida se realizará el cálculo del pasaporte de perforación y voladura, esta labor es realizada por un personal calificado.

Tabla 3. Características geomecánicas del macizo rocoso.

Trabajo de Diploma

Dominio Geológico			Arenisca subyacente	Arenisca suprayacente	Pizarra	Brecha	Caliza	Mudstone/ Limolita
Parámetros Básicos								
Peso unitario	-	kN/m ³	26,68	26,68	27,57	26,39	26,49	26,68
Resistencia a la compresión no confinada (UCS)	-	MPa	55	55	40	45	30	50
Clasificación de macizo rocoso (1976) (CSIR)	RMR	-	55	50	45	55	50	55
Q Clasificación (NGI)	Q	-	-	-	-	-	-	-
Índice de resistencia geológica	GSI	-	55	50	45	55	50	55
Constante de Hock-Brown para roca intacta	m _i	-	17	17	6	19	12	7
El módulo de Young	E	GPa	6,70 ¹	6,70 ¹	8,00	13,05	15,00	18,75
El coeficiente de Poisson	-	-	-	-	-	-	-	-
Módulo de corte	G	GPa	-	-	-	-	-	-
Macizo rocoso inalterado (Factor de Alteración D=0)								
Constante de Hoek Brown para macizo rocoso	m _b	-	3,408	2,851	0,842	3,809	2,012	1,403
Constante de HoekBrown	s	-	0,0067	0,0039	0,0022	0,0067	0,0039	0,0067
Cohesión de macizo rocoso	c'	MPa	1,752	1,60	0,967	1,647	1,123	1,385
Ángulo de Fricción	-	Deg.	45,3	43,91	31,03	44,81	36,46	37
Resistencia a compresión de macizo rocoso.	-	MPa	13,736	12,376	4,891	11,852	5,705	8,292
Módulo Deformación	E _{rm}	GPa	2735,48	2058,15	1789,2	5328,06	4607,79	7655,26

3.5 Parámetros generales de la Perforación y Voladura

Considerando la elevada resistencia de la roca que impide el uso de métodos mecánicos de arranque y que la granulometría de referencia del mineral que admite la trituradora es menor de 600 mm de diámetro; el macizo debe ser arrancado con el uso de explosivos.

Para la perforación de barrenos se emplearán perforadoras hidráulicas Sandvik modelo DP1500i de 115 mm de diámetro. La profundidad de barrenos es de 6,6 m (altura del banco de 6 m más 0.6 m de sobreperforación).

La malla de perforación propuesta es tresbolillo, con el espaciado y piedra nominal 2.6m; 3.0m.

Se utilizarán explosivos de emulsión encartuchada de tipo Senatel Magnafrac como carga de fondo y emulsión a granel (Centra Gold) como carga de columna. La Tabla 4 muestra los accesorios y explosivos con que cuenta la empresa en su polvorín.

Tabla 4. Explosivos y accesorios.

TIPO DE EXPLOSIVO	Nombre
Emulsion encartuchada	Senatel Magnafrac
Emulsion bombeable	Centra Gold
Agente de voladura	AMEX
TIPO DE DETONADOR	LONGITUD (m)
Exel TD (Conector Unidireccional).	300
Exel Handidet.	18 y 12
Exel Connectadet	4,8
CORDON DETONANTE	DENSIDAD LINEAL (g/m)
CORDTEX	3-4g/m
	5-6g/m
	10-12g/m
	40-42g/m

Para el caso de estudio se utilizarán los parámetros de diseño de voladura para el Mineral Arenisca. Los resultados obtenidos en el cálculo pasaporte de perforación y voladura se muestran en la Tabla 5 (Tomado de EXPLAMAT, 2016) y las características del yacimiento Castellanos son utilizados para obtener el diseño gráfico de dicho pasaporte con la utilización del software SHOTPlus, mediante el procedimiento elaborado en el capítulo II de este trabajo.

Tabla 5. Parámetros de diseño de voladuras.

PARÁMETROS DE DISEÑO DE VOLADURAS					
DESCRIPCIÓN	MINERAL	ARENISCA	ÓXIDOS AURÍFEROS	ÓXIDOS ESTÉRILES	OTROS (BRECHA, PIZARRAS, LIMOLITAS)
DENSIDAD DE LA ROCA (Tn./m ³)	3,5	2,7	2,4	2,4	2,8
ALTURA DEL BANCO (m)	6	6	6	6	6
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (D) (mm)	115	115	115	115	115
PROFUNDIDAD TOTAL BARRENO (m)	6,6	6,6	6,9	6,9	6,9
MALLA DE PERFORACIÓN (mxm)	2.6x3 (hasta 3,5x3,5)	3 x3,5 hasta 4x4	3 x3,5 hasta 4x4	3 x3,5 hasta 4x4	3 x3,5 hasta 4x4
ESPACIAMIENTO NOMINAL (m)	4	3,5 a 4	3,5 a 4	3,5 a 4	3,5 a 4
PIEDRA NOMINAL (BURDEN, B) (m)	3	3	3	3	3
LONGITUD CARGA (m)	4.6	4,8	4,8	4,8	4,8
LONGITUD DEL RETACADO	2	2,1			
LONGITUD DE CARGA DE FONDO	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
LONGITUD DE CARGA de columna	4	4,4	4,4	4,4	4,4
SOBREPERFORACIÓN (3 a 15 x D)	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9
TIPO EXPLOSIVO	Senatel con Emulsión a Granel o Senatel con Anfo				
DENSIDAD DEL EXPLOSIVO (Tn. /m ³)	1,14*	1,14*	1,14*	1,14*	1,14*
KG CARGA DE EXPLOSIVO (Kg/ agujero)	49.2	53	55,2	55,2	55,2
TONELADAS DE ROCA/ BARRENO	189	170	151	151	173
VOLUMEN DE DISPARO (m ³ / agujero)	54	62	62	62	62
FACTOR DE CARGA (KG/Tn.)	0,30	0,34	0,38	0,38	0,33
MAX VOLADURA POR SEMANA	3	3	3	3	3

3.6 Diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura con la utilización del software SHOTPlus a partir del procedimiento planteado

1. Se abre el programa y se ingresan los identificadores del proyecto (Figura 26).

Trabajo de Diploma

TPlus™ Professional

Editar Ver Cálculos Herr BlastIQ Ayuda

Desahcer Ctrl+Z
Rehacer Ctrl+Y
Cortar Ctrl+X
Copia Ctrl+C
Copiar imagen
Pegar Ctrl+V
Seleccionar
Editar seleccionado
Borrar Delete
Configuración del programa...
Idioma (Language)
Unidades
Plantillas...
Propiedades de voladura
Datos del diseño
Recursos disponibles...
Resultados voladura
Summary block...
Resource cost schema

Valores predeterminados de diseño para el tipo de pozo

Tipo de taladro << Hole type 1 >>
☐ Cuerpo del tipo de taladro de voladura

Predeterminado Máximo Mínimo

Ángulo: 0,0 5,0 0,0 (°)
Burden: 2,6 2,9 2,3 (m)
Espaciamiento: 3,0 3,3 2,7 (m)
☒ Escalonada
Altura de banco: 6,0 6,6 5,4 (m)
Sobreperforación: 0,6 1,1 0,0 (m)
☐ Sobreperforación negativa
Factor de carga: 0,10 0,11 0,00 (kg/m³)
Material de Taco: 2,0 2,2 1,8 (m)
Ángulo lateral: 5,00 0,00 (°)
Factor de carga: 1,00 (0.5 - 1.5)
Tolerancia de relleno: 0,2 (m) ☒ Usar Relleno
Tolerancia de reperf: 1,0 (m) ☐ Asumir el pozo húmedo
Wet State Tolerance: 0,0 (m)
Perforadora: 115 (mm) más perforadoras...
Longitud: 6,6 (m) ☒ Perforar desde el banco
☐ Mantener pista agujero
☒ Perforar a longitud
☐ Altura banco perf
☐ Perforar a RL
☐ Perforar superf. piso

Plantilla BDA
☐ Utilizar dominios BDA en mallas
Plantilla:
Descripción:
Autor:
Cargar archivo (.Hdv)
Guardar el archivo (.Hdv)
Cargar plantilla de BDA
Vista de dominios

OK Cancelar

Diagrama de perforación: Air (2,0 m), Centra Gold (6,0 m), ED 25ms (6,6 m), Sen Magnf (6,6 m), ø127 mm

Figura 28. Datos de la red de perforación.

Editar carga

#	Vary	Estr...	Explosivo	Come...	Tol.	Peso	#Ele...	F.Carg	Densi...	Pillow	Dec.	Co...	PF target
3			Air (0,0)	2,0	0,1	0,0	0,0	1,00	0,00			☒	
2			Centra Gold GT 1.2	4,0	0,1	60,8	0,0	1,00	1,20			☒	
1			Senatel Magnafrac	0,6	0,1	0,4	1,7	1,00	1,23			☒	

Primera intercep. A
Con Cordon Det Cordtex SW 500m

#	Initiator	Depth	Booster	Num.
1	Exel Enduradet (for U/G) (25ms)#1	6,3		1

Añadir Borrar

Save to template... Cargar plantilla...

OK Cancelar

Diagrama de perforación: Air (2,0 m), CTGldGT (6,0 m), Sent Magn (6,6 m), ø127 mm

Figura 29. Datos de las sustancias explosivas.

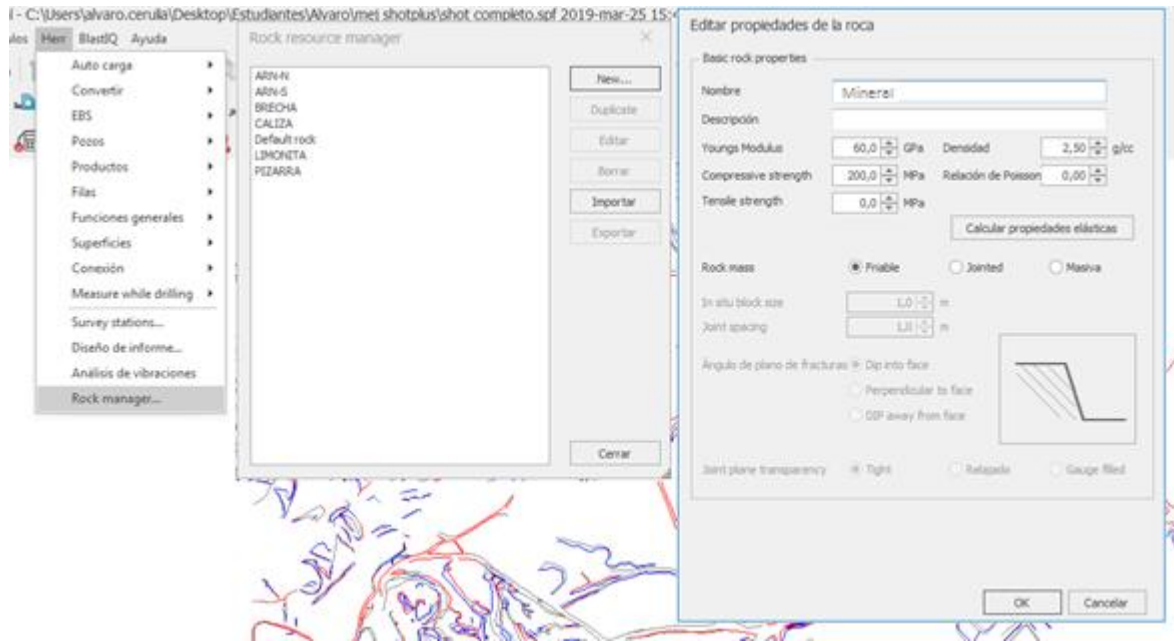


Figura 30. Datos de la roca.

- Se creó y rellenó el polígono con la red de perforación configurada (Figura 31). El anexo 1 muestra el resultado del replanteo de ubicación de los barrenos

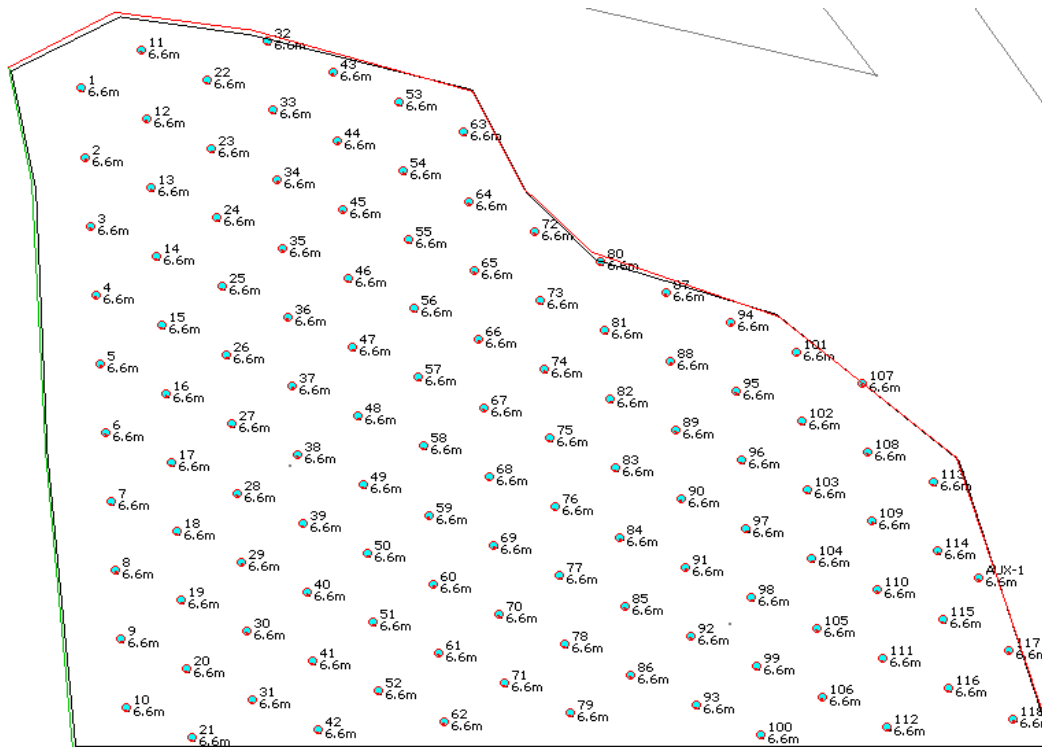


Figura 31. Polígono rellenado con la red diseñada.

5. Se realizó la conexión entre los barrenos (Figura 32).

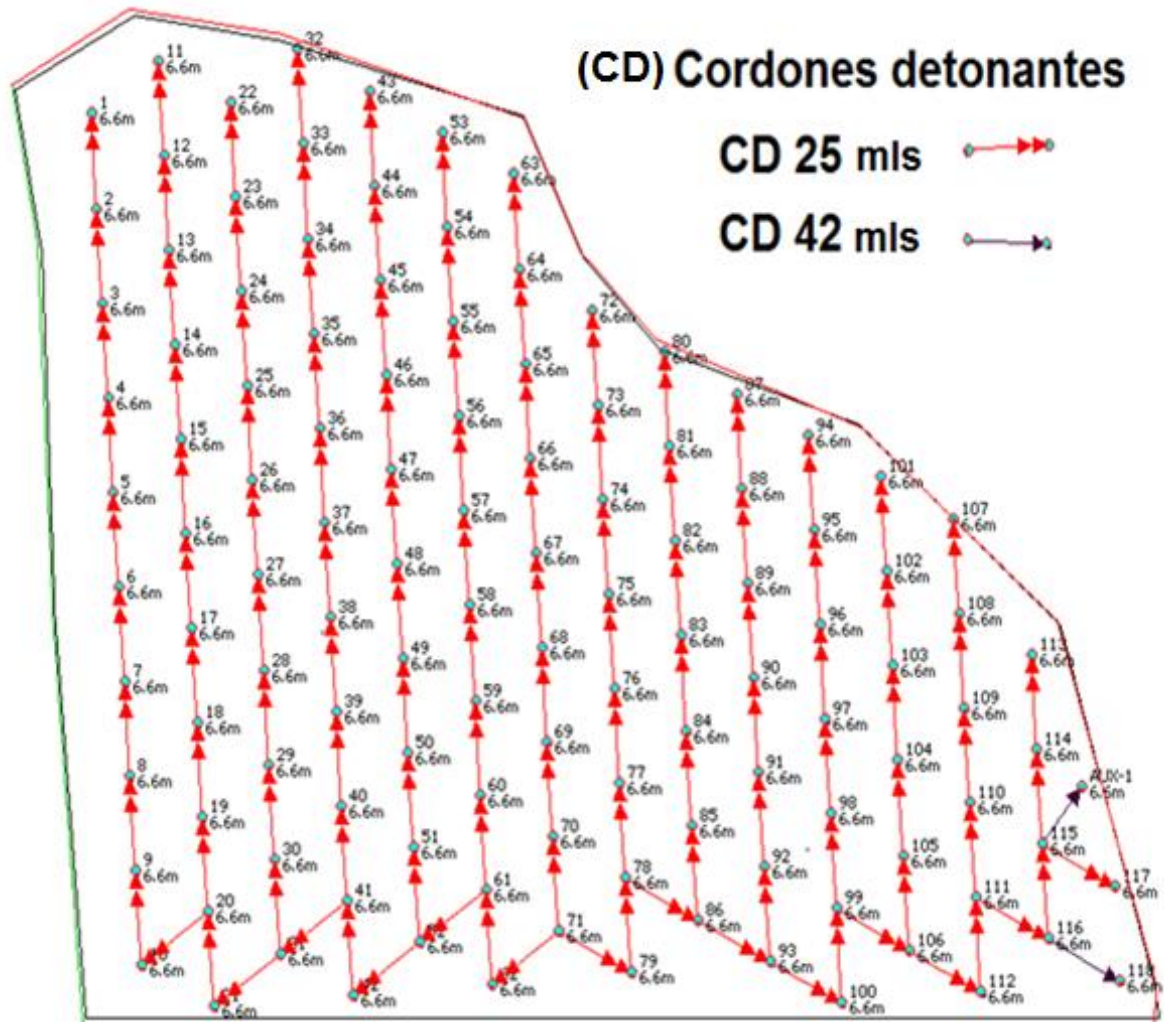


Figura 32. Conexión entre barrenos.

6. Se Analizó el posible resultado.

Dirección de la voladura (Figura 33).

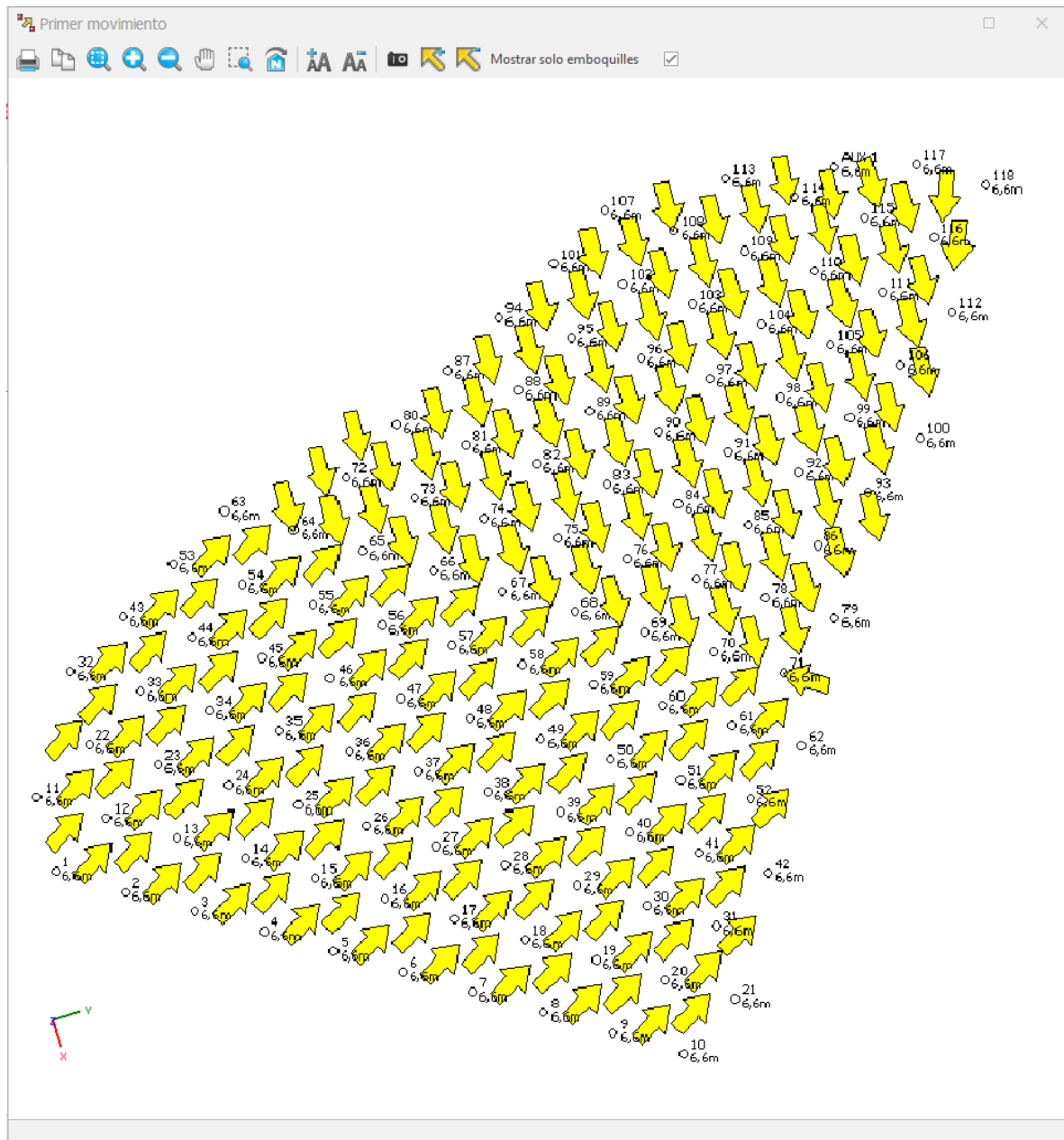


Figura 33. Dirección de la voladura.

Ángulo de iniciación de la voladura (Figura 34).

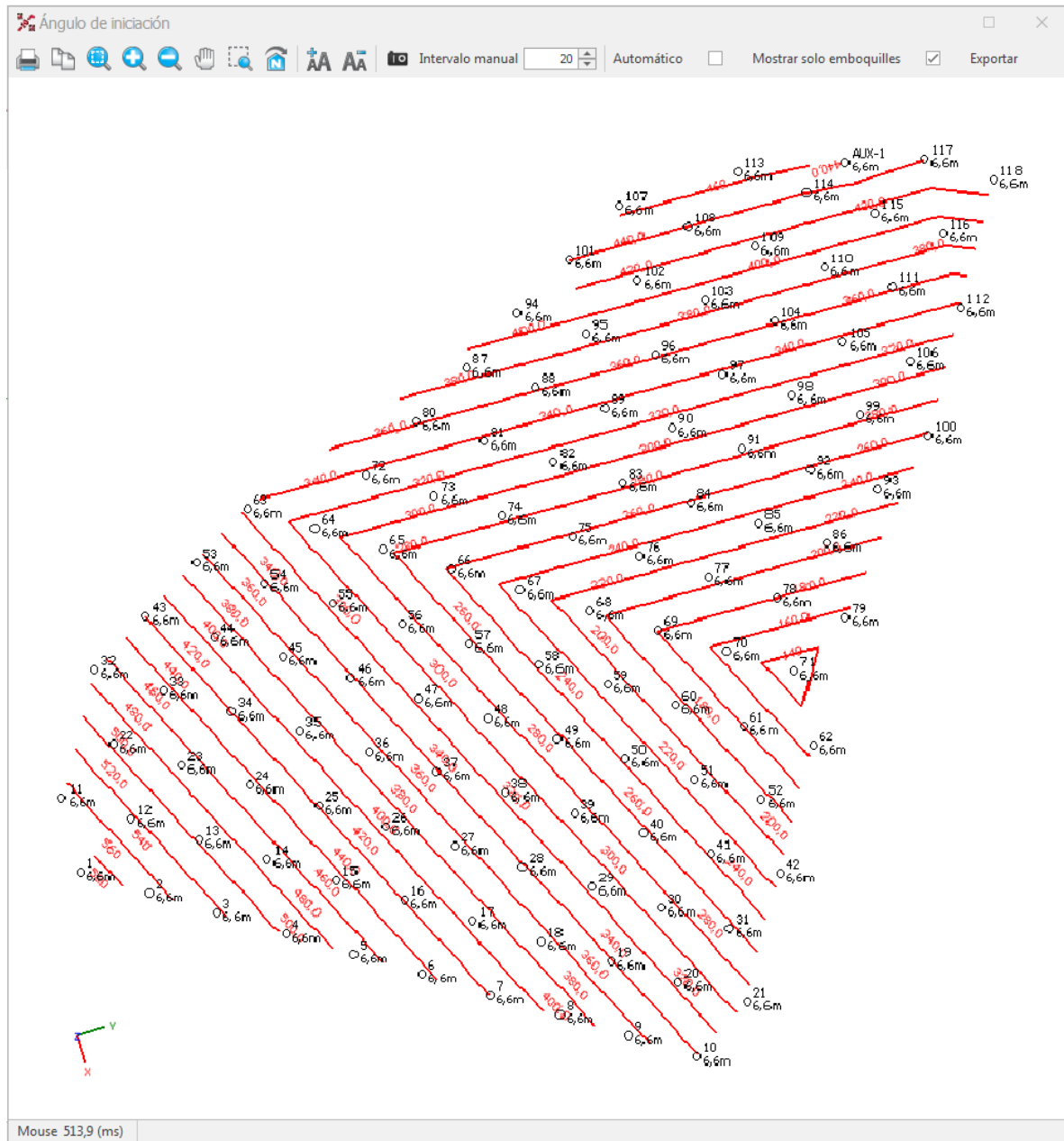


Figura 34. Ángulo de iniciación de la voladura.

Relación Peso-Tiempo y Carga-Tiempo (Figura 35 y 36).

Trabajo de Diploma

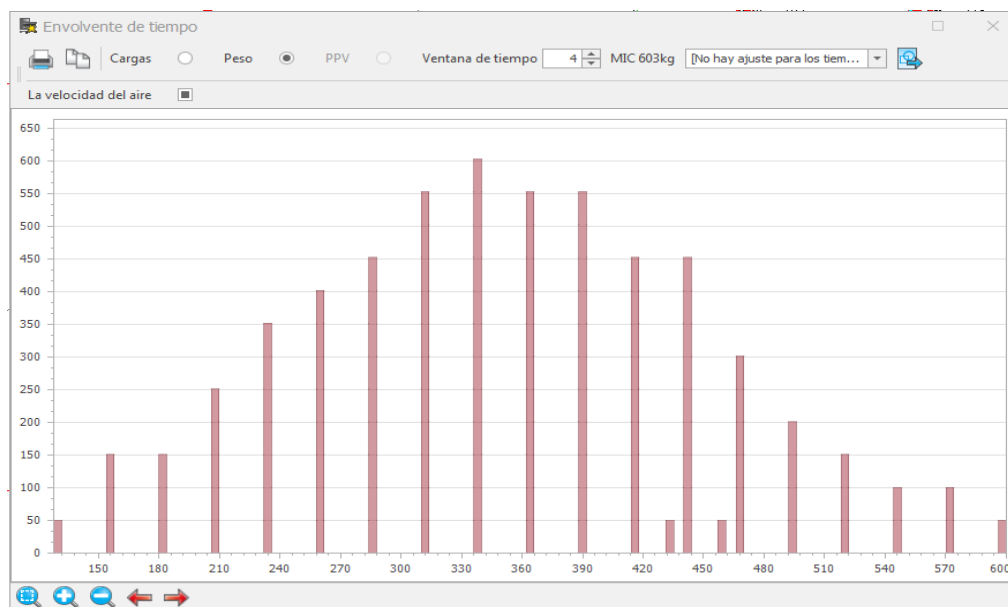


Figura 35. Relación Peso-Tiempo.

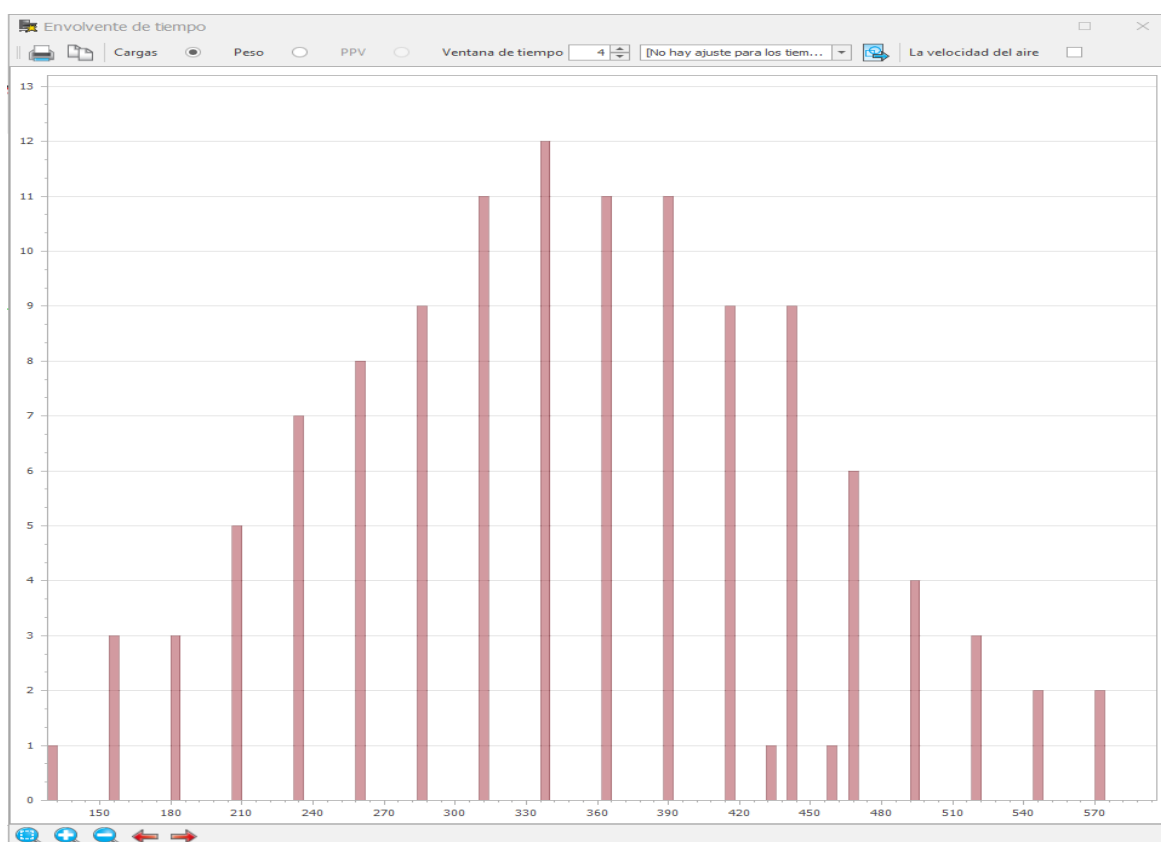


Figura 36. Relación Carga-Tiempo.

Tiempo de despojo (Figura 37).

Trabajo de Diploma

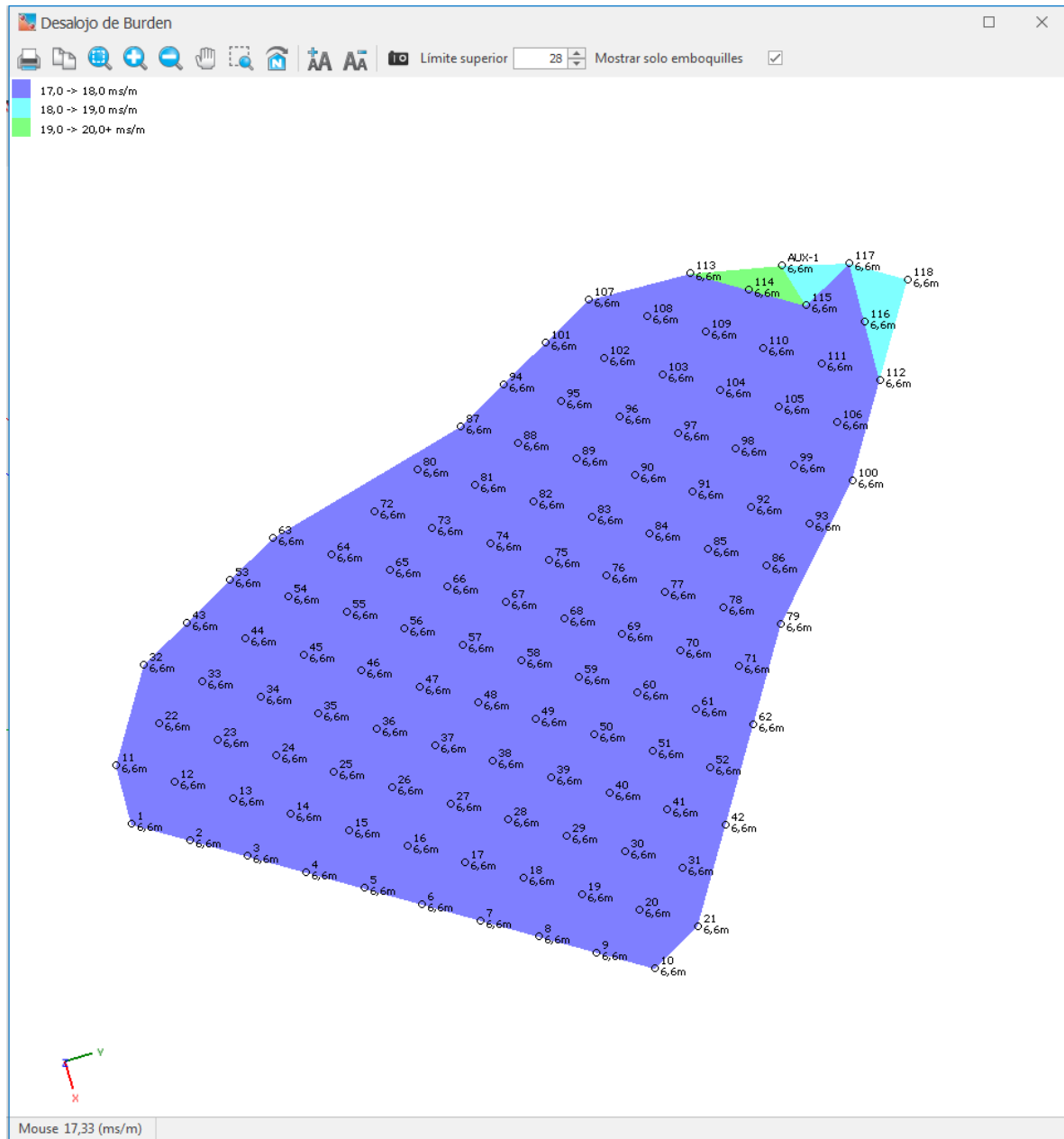


Figura 37. Tiempo de despojo.

Frecuencia de disparo en el tiempo (Figura 38).

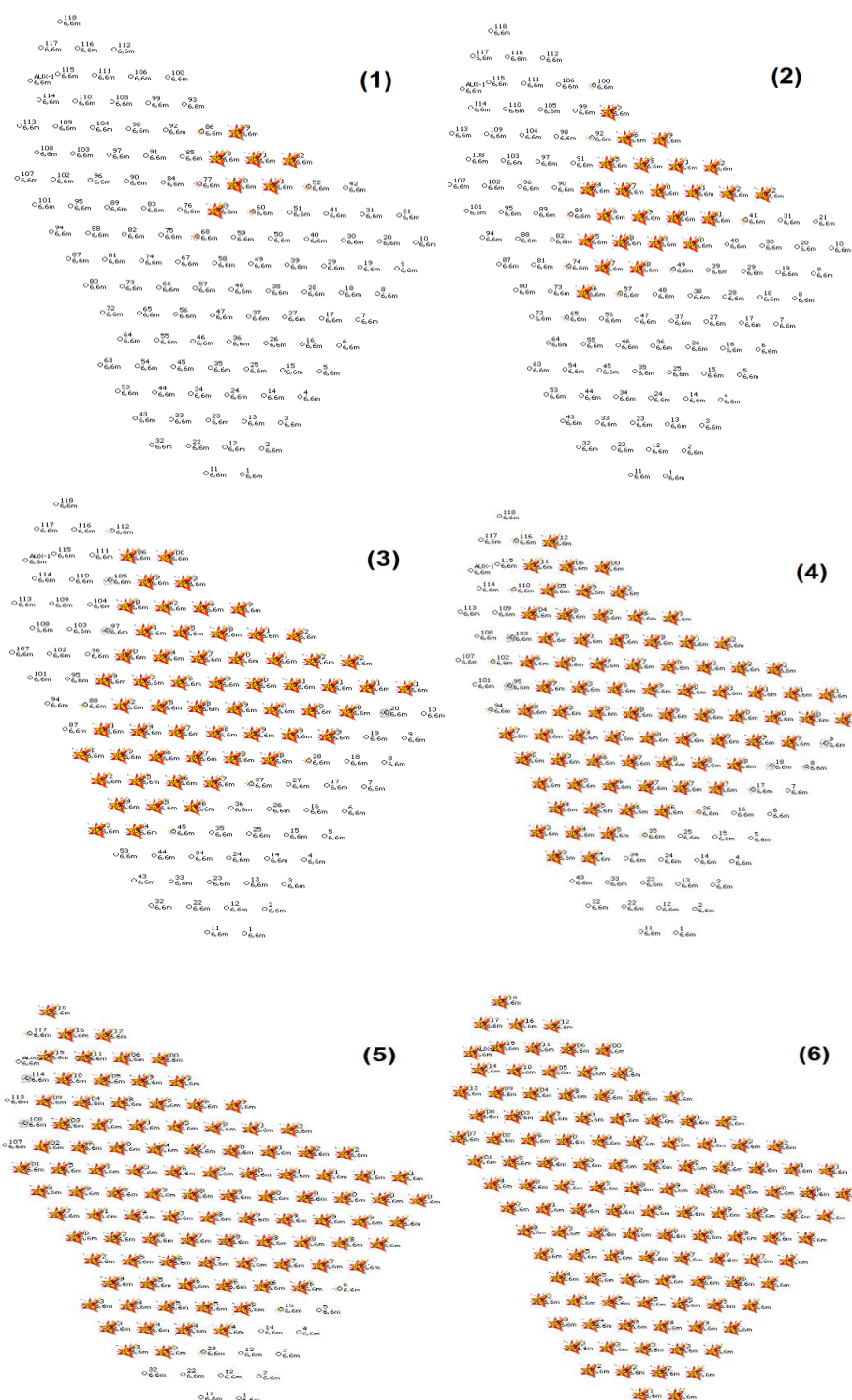


Figura 38. Frecuencia de disparo en el tiempo.

Fragmentación (Figura 39).

Trabajo de Diploma

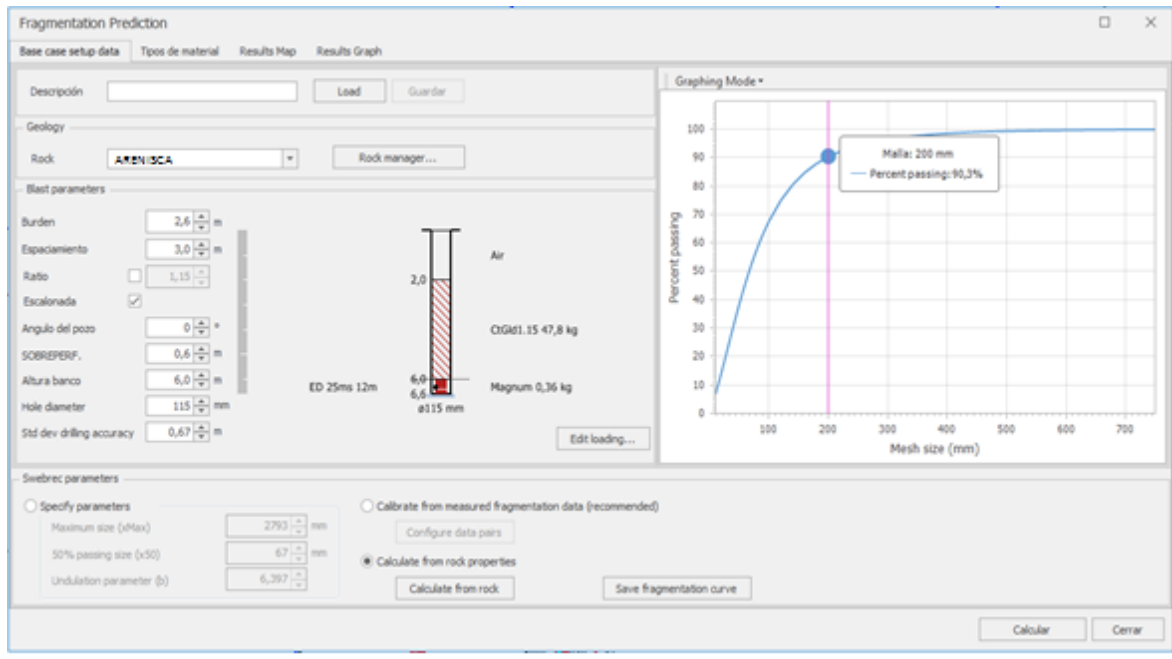


Figura 39. Fragmentación.

Productos consumidos por la voladura (Figura 40 y 41).

Cantidades			
Quantities By Hole Type			
Explosivos			
Centra Gold GT 1.2	1,20 g/cc Granel	5933,0 kg	BCAGDGT
Senatel Magnafrac	Encartuchado	119 elementos	
Sistemas de iniciación			
Cordtex 5W	0,0 m CSW		
Exel Connectadet	25 ms #025	106 (3,6 m)	DCN03.025U
Exel Connectadet	42 ms #042	12 (3,6 m)	DCN03.042U
Perforación			
User defined	115 mm	785,4 m	
Resumen de taladro			
Falso	0		
No conectado	0		
Otros	119		
Sistema electrónico de voladura	0		
Taladros totales	119		
Tiro fallado	0		

Figura 40. Productos consumidos por la voladura (1).

Cantidades					
Quantities Quantities By Hole Type					
Explosivos					
	Hole type 1	Hole type 2	Hole type 3	Hole type 4	
Centra Gold GT 1.2	119 5933 kg				
Sentel Magnafrac	119 42,8 kg				
Perforación					
	Hole type 1	Hole type 2	Hole type 3	Hole type 4	
115 mm	119 785,4 m				

Figura 41. Productos consumidos por la voladura (2).

Bloque resumen (Figura 42).

Datos de resumen de voladura			
Burden: 2,6m	Espaciamiento: 3,0m	Sobreperf.: 0,6m	Retacado: 2,0m
Burden de primera fila: 2,6m	Diámetro del taladro: 115,0mm	Número de taladros: 119	Ángulo taladro: 0,0°
Total perforado: 785,4m	Volumen volado: 5786,7m ³		

Figura 42. Resumen de algunos datos principales.

CONCLUSIONES

- Se elaboró un procedimiento integral que permite incorporar nueva herramienta para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con el uso del software minero SHOTPlus.
- Se demuestra con el procedimiento propuesto la elevada precisión para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura en minas a cielo abierto, además de disminuir considerablemente los errores técnicos y el ahorro de tiempo en la ejecución del proyecto.

RECOMENDACIONES

- Generalizar el procedimiento propuesto a otras minas.
- Incorporar el estudio del software minero SHOTPlus en el programa de estudio de la carrera Ingeniería en Minería a través de la asignatura Software Minero.

BIBLIOGRAFÍAS

(<http://www.orica.com/Products-Services/Mining-Services/BlastIQ/> Technologies /shotplus). (s.f.).

ALEJANDRO, A. L. (2012). *La Investigación científica: Conceptos y Reflexiones*. ISMM. Moa: Libro en versión electrónica.

AUTOTES, C. D. (2010). *Manual de minería*. Estudios mineros del Perú S.A.C.

BLASOV, E. (1962). *Fundamentos del cálculo de la fragmentación de las rocas por la explosión*. Editorial Academia de Ciencias de la URSS.

BOBK, A. (1979). *La Conquista de la explosión*. Naukova Dimka.Kiev.

Bunga, A. P. (2016). *Perfeccionamiento de los trabajos de perforación y voladura en la cantera El Pilón*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

CARTAYA, M. (2008). *Tecnología de explotación de los Yacimientos*. Moa.

COLECTIVODEAUTORES. (2000). *Diseño de Cantera*. (Universidad Nacional de Loja, Facultad de Ciencia y Tecnología).

DORONIN, I. (s.f.). *Proyección del pasaporte de los trabajos de perforación y voladura*. Leningrado: 1983.

FERNANDES, I. M. (2014). *Procedimiento para el diseño gráfico del pasaporte de perforación y voladura a cielo abierto con la utilización del software Gemcom*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

GUSTAFSSON, R. (1977). *Técnica Sueca de voladura*. Suecia: Editorial Nora.

Guzmán, S. A. (2017). *ANÁLISIS DEL COSTO DEL SERVICIO DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN EL YACIMIENTO VICTORIA II*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez".

Hechavarria, D. C. (2013). *Procedimiento para el diseño geométrico de cantera con la utilización del software Gemcom*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Nuñez Jiménez".

HERRERA, J. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto* . Moa.

HERRERA, J. (2007). *Diseño de Explotación de cantera* . Moa.

- BARRAGAN, G. (2007). *Explotación a cielo Abierto de Materiales de Materiales de Construcción*. Moa.
- JARAMILLO, J. (1999). *Perfeccionamiento de los trabajos de voladura en el yacimiento XX Aniversario*. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- KUTUSOV, N. (1980). *Trabajos de voladura* . Nedra.
- Lobaina, A. A. (2015). *Elementos teóricos y prácticos de la investigación científico-tecnológica*. Moa: Editorial Félix Varela .
- LÓPEZ, E. (2000). *Manual de perforación y voladuras de rocas*. Institutotecnológicogeominero de España. Madrid.
- MINTEC. (2000). *Manual de Introducción a las Aplicaciones de Ingeniería de Mina*". "MINESIGHT.
- OTAÑO, J. (1984). *El corte de monolitos y bloques de mármol por el método hidroexplosivo*. ISMMANJ.
- OTAÑO, J. (1998). *Acción de la explosión en las rocas ligadas*. Loja, Ecuador.
- OTAÑO, J. (1998). *Fragmentación de rocas con explosivos*. La Habana: Editorial Félix Varela.
- SLAUGHTER, S. (2005). *Efecto de la perforación en los resultados de una voladura*. Concretonline, Madrid.
- ULAEX, S. (2003). *Exposición para Expocaribe*.

ANEXOS

Anexo 1: Coordenadas de la ubicación de los barrenos.

POZO	X	Y
1	193950.65	315076.52
2	193952.24	315079.06
3	193953.83	315081.61
4	193955.42	315084.15
5	193957.01	315086.69
6	193958.60	315089.24
7	193960.19	315091.78
8	193961.78	315094.33
9	193963.36	315096.87
10	193964.95	315099.42
11	193947.65	315076.62
12	193949.24	315079.17
13	193950.83	315081.71
14	193952.42	315084.26
15	193954.01	315086.80
16	193955.60	315089.34
17	193957.19	315091.89
18	193958.78	315094.43
19	193960.37	315096.98
20	193961.95	315099.52
21	193963.54	315102.06
22	193946.24	315079.27
23	193947.83	315081.82
24	193949.42	315084.36
25	193951.01	315086.91
26	193952.60	315089.45
27	193954.19	315091.99
28	193955.78	315094.54

Trabajo de Diploma

29	193957.37	315097.08
30	193958.95	315099.63
31	193960.54	315102.17
32	193943.24	315079.38
33	193944.83	315081.92
34	193946.42	315084.47
35	193948.01	315087.01
36	193949.60	315089.56
37	193951.19	315092.10
38	193952.78	315094.64
39	193954.37	315097.19
40	193955.96	315099.73
41	193957.54	315102.28
42	193959.13	315104.82
43	193941.83	315082.03
44	193943.42	315084.57
45	193945.01	315087.12
46	193946.60	315089.66
47	193948.19	315092.21
48	193949.78	315094.75
49	193951.37	315097.29
50	193952.96	315099.84
51	193954.55	315102.38
52	193956.13	315104.93
53	193940.42	315084.68
54	193942.01	315087.22
55	193943.60	315089.77
56	193945.19	315092.31
57	193946.78	315094.86
58	193948.37	315097.40
59	193949.96	315099.94
60	193951.55	315102.49
61	193953.14	315105.03

Trabajo de Diploma

62	193954.72	315107.58
63	193939.01	315087.33
64	193940.60	315089.87
65	193942.19	315092.42
66	193943.78	315094.96
67	193945.37	315097.51
68	193946.96	315100.05
69	193948.55	315102.59
70	193950.14	315105.14
71	193951.73	315107.68
72	193939.19	315092.52
73	193940.78	315095.07
74	193942.37	315097.61
75	193943.96	315100.16
76	193945.55	315102.70
77	193947.14	315105.24
78	193948.73	315107.79
79	193950.32	315110.33
80	193937.78	315095.17
81	193939.37	315097.72
82	193940.96	315100.26
83	193942.55	315102.80
84	193944.14	315105.35
85	193945.73	315107.89
86	193947.32	315110.44
87	193936.37	315097.82
88	193937.96	315100.37
89	193939.55	315102.91
90	193941.14	315105.45
91	193942.73	315108.00
92	193944.32	315110.54
93	193945.91	315113.09
94	193934.96	315100.47

Trabajo de Diploma

95	193936.55	315103.02
96	193938.14	315105.56
97	193939.73	315108.10
98	193941.32	315110.65
99	193942.91	315113.19
100	193944.50	315115.74
101	193933.55	315103.12
102	193935.14	315105.67
103	193936.73	315108.21
104	193938.32	315110.75
105	193939.91	315113.30
106	193941.50	315115.84
107	193932.14	315105.77
108	193933.73	315108.32
109	193935.32	315110.86
110	193936.91	315113.40
111	193938.50	315115.95
112	193940.09	315118.49
113	193932.32	315110.97
114	193933.91	315113.51
115	193935.50	315116.05
116	193937.09	315118.60
117	193934.09	315118.70
118	193935.68	315121.25
AUX-1	193933.23	315115.43