

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE VOLADURA EN MINERÍA A CIELO ABIERTO MEDIANTE EL PLANEAMIENTO IMPLEMENTANDO EL SOFTWARE MINEX

Fecha de recibido: 15 de septiembre de 2012

Fecha de aceptación: 1 de octubre de 2012

Estudiantes de Ingeniería de Minas,
Fundación universitaria del Área Andina

CRISTIAN A. RAMÍREZ RAMÍREZ
SONIA M. VIVAS GUEVARA
WILSON F. PEREZ

RESUMEN

En este artículo se presenta el análisis y el diseño de la operación de perforación y voladuras en minería a cielo abierto basado en la implementación del software de diseño Minex. La principal intención de este trabajo es utilizar el módulo de planeación Blast incorporado en Minex para el diseño de un proceso de arranque por medio de explosivos óptimo, desde los diferentes enfoques (económicos, seguridad, efectividad, eficacia, disponibilidad, etc.), la base de este artículo se centra en la facilidad de ingresar a través del módulo Blast la densidad del explosivo, área de la voladura, diámetro e inclinación de la perforación, resistencia a la compresión de la roca y dimensiones del banco y al ejecutar una serie de comandos obtener el valor de las variables más importantes que condicionan el diseño de la operación de perforación y voladuras, tales como: taco, rata de perforación, carga del barreno, número de barrenos, factor de carga, entre otras. Esta información permite diseñar la perforación y la voladura en un menor tiempo y además disminuir el error humano que se tiene por el uso manual y repetitivo de las fórmulas para cálculos de los parámetros involucrados en el diseño de la perforación y voladura en minería a cielo abierto.

ABSTRACT

In this article the analysis and design of drilling and blasting operations in opencast mining based on the implementation of Minex software design is presented. The main intention of this work is to use the planning module Minex Blast incorporated into the design of a boot process through optimal explosives from possible approaches (economic, safety, effectiveness, efficiency, availability, etc.), the base This article focuses on using Blast density explosive area blasting, diameter and angle drilling, compressive strength of the rock and dimensions of the bank are entered and execute a series of commands is obtained value of the most important variables that condition the design of drilling and blasting operation, rat drilling, borehole load, number of holes, load factor , among others. This information allows you to design the drilling and blasting operation in less time and reduce human error that has by repetitive use of the formulas for calculation of the parameters involved in the design of drilling and blasting in opencast mining.

INTRO DUCCIÓN

La minería es quizás, una de las actividades que más ha influido en el desarrollo de la humanidad. Iniciada en la denominada “Edad de Piedra” cuando se comenzaron a utilizar rudimentarias herramientas pétreas, antes que hubiera leyes sociales, intereses económicos y legislación ambiental, es hoy para muchos países del mundo eje de conflictos, factor de desarrollo y motor de generación de riqueza y crecimiento económico. En el intervalo cronológico de tiempo que existe desde la época de las cavernas hasta el día de hoy se han presentado múltiples avances que han incidido de gran manera en el desarrollo y evolución de la minería.

En la última década la minería ha cobrado gran importancia dentro del contexto nacional por su aporte a la economía, representada en el aumento de las exportaciones y contribución al crecimiento del producto interno bruto colombiano, El escenario minero nacional está dominado por los sectores auríferos, la industria del ferroníquel y el sector carbonífero (Cárdenas y Reina, 2008); Lo que ha traído consigo que haya aumentado considerablemente la demanda en la producción de minerales, para satisfacer esta demanda, minas a cielo abierto de gran tamaño se ven obligadas a establecer objetivos de producción, producción que ha traído consigo el despliegue de equipos de alta capacidad y la implementación de nuevas tecnologías.

Los objetivos de producción se han logrado con la ayuda de gran maquinaria para lo que respecta a movimientos de tierra, equipos de minería continua, mejora de explosivos y accesorios, entre otros; pero es relevante resaltarque todo los anteriores mecanismos implican alta inversión de capital y por lo tanto, los ingenieros de minas deben optimizar y planificar para lograr el mejor rendimiento de la maquinaria; principalmente en toda aquella que se encuentra estrechamente relacionada con la ejecución del arranque de rocas a través del procesos de voladuras, puesto que este proceso constituye los mayores costos de la industria minera.

La optimización de las explotaciones mineras a cielo abierto, es en la actualidad, una herramienta que le permite a las diferentes empresas explotadoras de los recursos minerales aumentar la vida de sus diferentes proyectos mineros, explotar recursos minerales de menor tenor, incrementar las reservas probadas del mineral de interés y obtener utilidades mayores, entre otros. Lo anterior se da como una función del planeamiento y diseño minero, teniendo en cuenta que un yacimiento mineral es un negocio. (Hustrulid y Kuchta, 2006).

En minería, la optimización se lleva a cabo mediante la evaluación y análisis de cada una de las operaciones unitarias necesarias para la extracción del recurso mineral de interés (Afeni y Osasan, 2009); Una de estas, es la operación de perforación y voladura, la cual es uno de los métodos de arranque de material más utilizado, pues permite obtener mayor cantidad de material arrancado en un tiempo más corto y puede ser empleado en rocas con diferentes propiedades físicas y mecánicas, además ofrece una adecuada fragmentación del material, aspecto que es fundamental para la remoción y transporte de material volado (Díaz, Guarín y Jiménez., 2012).

A nivel mundial ha sido mucho el interés que se le ha prestado al tema de optimizar el proceso de perforación y voladura en minería por los costos que esta trae consigo y la importancia que tiene en todo los procesos siguientes al arranque, en lo que ha España respecta Tras la buena acogida que ha tenido entre los técnicos españoles y extranjeros el "Manual de Perforación y Voladura de Rocas" publicado en 1987, el ITGE ha dado un paso más en la actualización de las tecnologías en el citado campo mediante la elaboración de los programas de diseño y cálculo de las principales voladuras que se realizan en trabajos a cielo abierto, el cálculo de la resistencia eléctrica total de un circuito de voladura y selección del explosor, y la predicción analítica del nivel de vibraciones terrestres; España ha invertido en la realización de un programa "inteligente" por cuanto se detecten aquellos datos y soluciones que si bien son válidas matemáticamente se encuentran fuera de la buena práctica del arranque de rocas con explosivo. Por último, además de diseñarse geoméricamente las voladuras y determinar las cantidades de explosivo en cada tipo de pega se han preparado unos módulos de cálculo de costes que permiten una rápida elaboración de los presupuestos y planificación del arranque. (Instituto Tecnológico Geominero De España., s.f).

Por otra parte, Orica (empresa líder a nivel mundial en explosivos industriales para minería), Marco Arellano (manager en América latina de Orica) señala que un reto en el ámbito local "y de alto interés a nivel mundial tiene relación con las voladuras masivas y asociadas al nuevo concepto de minería continua, para lo cual Orica, junto a socios estratégicos, está trabajando en sus centros de investigación y en el desarrollo de modelamientos predictivos de fracturamientos inducidos en espacios confinados, que aseguren la fragmentación requerida para la minería continua". (Revista minería chilena, editec, 2013)

A nivel de sur américa chile lleva la iniciativa en el tema de una perforación y una voladura de gran eficacia, cuenta con empresas de actualización tecnológica como lo es GEOBLAST, la cual maneja software especializados en servicios de análisis integrado de geología, geotecnia y tronadura, la evaluación de la fragmentación resultante y la obtención de curvas de distribución granulométrica representativas del grado de fragmentación de la roca lo cuales permiten diseñar tomando como prioridad la factibilidad de proyectos u operaciones mineras. (Revista minería chilena, editorial editec, 2013)

A nivel de sur américa chile lleva la iniciativa en el tema de una perforación y una voladura de gran eficacia, cuenta con empresas de actualización tecnológica como lo es GEOBLAST, la cual maneja software especializados en servicios de análisis integrado de geología, geotecnia y tronadura, la evaluación de la fragmentación resultante y la obtención de curvas de distribución granulométrica representativas del grado de fragmentación de la roca lo cuales permiten diseñar tomando como prioridad la factibilidad de proyectos u operaciones mineras. (Revista minería chilena, editorial editec, 2013)

El diseño y análisis de la planeación del proceso de perforación y voladura en minería a cielo abierto utilizando como metodología el módulo Blast incorporado en el software de diseño minero Minex, el cual permite planear y diseñar de forma precisa y lógica los parámetros óptimos que deben regir una voladura para que garantice un proceso extractivo seguro tanto minero, como ambiental, pero sobre todo que permita llevar a cabo una actividad económicamente rentable. La perforación y la voladura es el proceso actualmente de mayor importancia en la industria minera, por lo que llevar a cabo una detonación eficiente garantizará un proceso de cargue y acarreo productivo, lo que se verá reflejado en múltiples beneficios. Por todo lo anterior es necesario optimizar los diseños de las voladuras de las unidades productivas mineras mediante especializados softwares (Minex) el cual tiene incorporado de una forma precisa y lógica la gama de cálculos y fórmulas matemáticas que empíricamente se utilizan a diario en las empresas. Minex a través de su módulo Blast permite ingresar la densidad del explosivo, área de la voladura, espaciamiento, burden, sobre-perforación, diámetro e inclinación de la perforación, resistencia a la compresión de la roca y dimensiones del banco y al ejecutar una serie de comandos se obtiene el valor de las variables más importantes que acondicionan el diseño de la operación de perforación y voladuras, tales como: altura del banco, taco, rata de perforación, carga del barrenos, numero de barrenos, factor de carga, entre otras, lo que permite analizar el proceso de tal forma que se puedan desarrollar modificaciones en los parámetros dado el caso que así se amerite sin tener que desarrollar tediosos cálculos manuales, ni tener costosas perdidas económicas, producto de pruebas en campo.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo y planteamiento de esta investigación se realizaron una serie de pasos organizados y relacionados entre sí; la investigación se centró primordialmente en la aplicación del módulo Blast incorporado en minex para el diseño y la simulación de voladuras, implementando lógicos parámetros de diseño que se utilizan empíricamente en la industria de la minería, con la firme idea de obtener un óptimo proceso que demuestre su superioridad delante de imprecisos métodos manuales que hoy en día aún son utilizados en grandes empresas que no quieren abrir las puertas a las nuevas tecnologías.

El artículo llevó consigo la realización de una revisión bibliográfica, que parte de la obtención de información preliminar, información que abarca el significado de perforación de rocas, voladura, fases de la voladura, perforación de rocas, definición de software de diseño Minex, las condiciones bajo las cuales se implementa la voladura como proceso de arranque, fragmentación de roca, el significado de variables de diseños (burden, espaciamiento, sobre-perforación...), pero como punto de mayor relevancia se desarrolló el diseño de una voladura, utilizando cálculos manuales y un diseño a través de la implementación del módulo blast del software Minex, con las mismas variables ambos diseños (densidad del explosivo, área de la voladura, diámetro e inclinación de la perforación, resistencia a la compresión de la roca, altura del banco, burden, sobre-perforación, espaciamiento, taco, rata de perforación, carga del barreno, número de barrenos, factor de carga); posteriormente se llevó a cabo un análisis de los resultados de ambos diseños (manual-módulo blast), llevando a cabo una comparación entre ellos, tomando como indicadores de evaluación: la precisión de los datos, el tiempo que conlleva la obtención de cada variable y la confiabilidad de las operaciones que cada método requiere para la elaboración de un diseño. Es de gran importancia resaltar que las variables de diseño y las fórmulas de cálculo fueron producto de una investigación bibliográfica acerca de las variables de diseño de perforación y voladura en minería a cielo abierto más utilizados y de mayor lógica, la investigación así misma fue reforzada por una consulta a un experto en planeamiento minero, consulta que tomó como criterio de discusión los siguientes indicadores: topografía del terreno, tipo de yacimiento, espesores de mineralización, profundidad, entre otros factores. Todo lo anterior facilitó la selección de los valores de diseño más apropiados los cuales fueron luego implementados en el diseño de la perforación y la voladura.

Perforación de rocas

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura (Karlinskiet al., 2009). Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes. Esta operación es necesaria para lograr el confinamiento del explosivo y aprovechar mejor las fuerzas expansivas (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpes y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la roca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Los métodos de perforación más empleados son los métodos rotativos y rotopercutivos. Siendo este último el sistema más clásico de perforación de barrenos. La perforación a rotopercusión se basa en la combinación de las siguientes acciones: percusión, rotación, empuje y barrido (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

La operación de perforación depende directamente de la dureza y abrasividad de la roca. La fragmentación de la roca se considera el parámetro más importante en las operaciones de minería a causa de sus efectos directos sobre los de perforación y voladuras. La resistencia de la roca determina el método o medio de perforación a emplear: rotación simple o rotopercusión. Por lo general cuanto más blanda sea la roca mayor debe ser la velocidad de perforación. Por otro lado, cuanto más resistente sea a la compresión, mayor fuerza y torque serán necesarias para perforarla (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Voladura

La voladura es uno de los medios principales de extracción de minerales en las operaciones de minería a cielo abierto. El propósito principal de la operación de voladura es la fragmentación de la roca y para esto se requiere de una gran cantidad de explosivos. Los explosivos liberan una gran cantidad de energía durante la explosión, en donde, sólo el 20-30% es utilizada para la ruptura y el desplazamiento de las rocas, mientras que el resto de esta energía es desperdicia en forma de efectos secundarios ambientales (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

La voladura se puede definir como la ignición de una carga masiva de explosivos. El proceso de voladura comprende el cargue de los huecos hechos en la perforación. Con una sustancia explosiva, que al entrar en acción origina una onda de choque y, mediante una reacción, libera gases a una alta presión y temperatura de una forma substancialmente instantánea, para arrancar, fracturar o remover una cantidad de material según los parámetros de diseño de la voladura misma (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de iteración. La fragmentación del macizo rocoso es causada inmediatamente después de la detonación. El efecto de impacto de la onda de choque y de los gases en rápida expansión sobre la pared del taladro, se transfiere a la roca circundante, difundándose a través de ella en forma de ondas o fuerzas de compresión, provocándole solo deformación elástica, ya que las rocas son muy resistentes a la compresión. Al llegar estas ondas a la cara libre en el frente de voladura causan esfuerzos de tensión en la masa de roca, entre la cara libre y el taladro. Si la resistencia a la tensión de la roca es excedida, esta se rompe en el área de la línea de menos resistencia (burden). En este caso las ondas reflejadas son ondas de tensión que retornan al punto de origen creando fisuras y grietas de tensión a partir de los puntos y planos de debilidad naturales existentes, agrietándola profundamente (efecto de craquelación) (Díaz, guarín y Jiménez.).

Variables de diseño de voladura

Diámetro del pozo (D): es el diámetro con el que se construye el barreno de perforación, este depende principalmente del equipo que se emplea para su construcción (Centro Tecnológico de Voladura EXSA S. A, 2009).

Inclinación de la perforación: el componente principal del movimiento de las rocas es perpendicular al eje de los barrenos, por lo que cuando estos se inclinan el material se proyecta hacia arriba y hacia adelante (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

En teoría, el desplazamiento horizontal es máximo cuando el ángulo de los barrenos es de 45° , pero en la práctica lo habitual es utilizar inclinaciones no superiores a los 30° . Esto es debido a las características de los equipos de perforación, que en algunos casos, incluso aconsejan la perforación vertical, como sucede con los grandes equipos rotativos con rocas duras (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Resistencia a la compresión de la roca (σ_c): es la propiedad mecánica de la roca de oponerse a las fuerzas de compresión y tensión (Yilmaz, 2009). Esta propiedad determina la energía que se necesita aplicar para la perforación del macizo rocoso y condiciona en gran parte los parámetros y características de la operación de perforación y voladura (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Casi simultáneamente, el volumen de gases liberados y en expansión penetra en las grietas iniciales ampliándolas por acción de cuña y creando otras nuevas, con la que se produce la fragmentación efectiva de la roca. Si la distancia entre el taladro y la cara libre está correctamente calculada la roca entre ambos puntos cederá. Luego los gases remanentes desplazan rápidamente la masa de material triturado hacia adelante, hasta perder su fuerza por enfriamiento y por aumento del volumen de la cavidad formada en la roca. En este momento en que los fragmentos o detritos caen y se acumulan para formar la pila de escombros o material volado. Concluyendo de esta forma el proceso de voladura (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Fases de la voladura

- Preparación del banco.
- Configuración de la malla.
- Perforación de barrenos.
- Carga de barrenos.
- Mantenimiento de registros de voladura
- Análisis del rendimiento.
- Geometría de la voladura y emplazamiento de la misma.
- Prevención de proyecciones.
- Prevención, detección y control de barrenos fallidos.

Dimensiones de la voladura: comprende el área superficial delimitada por el largo del frente y el ancho o profundidad del avance proyectado (m²) por la altura de bando o de corte (H), en m³ (Díaz, guarín y Jiménez., 2012).

Burden: El burden de un pozo se refiere a la dimensión lineal entre el pozo y la cara libre y se mide perpendicular a la dirección de la línea de pozos que constituyen una fila. El término burden generalmente se refiere al burden perforado, significando que la dimensión lineal se hace a la cara libre existente del banco. (Manual enaex, Il curso de tronadura en minería a cielo abierto, 2001)

Espaciamento: El espaciamento para un hoyo de tronadura se refiere a la dimensión lineal entre hoyos de tronadura adyacentes que forman una fila, y se mide usualmente paralelo a la cara libre. El término usualmente se refiere al espaciamento de la perforación. (Manual enaex, Il curso de tronadura en minería a cielo abierto, 2001)

Explosivos: Un explosivo que detona por ignición simple de medios tales como chispas, llamas, impacto, y otras fuentes primarias de calor. Explosivos Primarios incluyen aquellos que se hallan en detonadores, cordón detonante, e iniciadores. (Manual enaex, Il curso de tronadura en minería a cielo abierto, 2001)

Diseño de voladura método manual.

Formulas.

Fuente : (Manual práctico de voladura, 2009)

$$B = \left[\left(\frac{2p_{exp}}{proca} \right) + 1,5 \right] * \emptyset$$

En donde

B= burden (ft)

p_{exp} = densidad del explosivo

$proca$ = densidad de la roca

\emptyset = diametro del barreno en pulgadas

$J = 0,3B$

J= sobreperforación

B=burden (m)

$L = hb + J$

L= profundidad del barreno

hb= altura del banco

S= 1,15B

S= espaciamento

B= burden (m)

Diseño voladura método optimizado

Delimitación del área

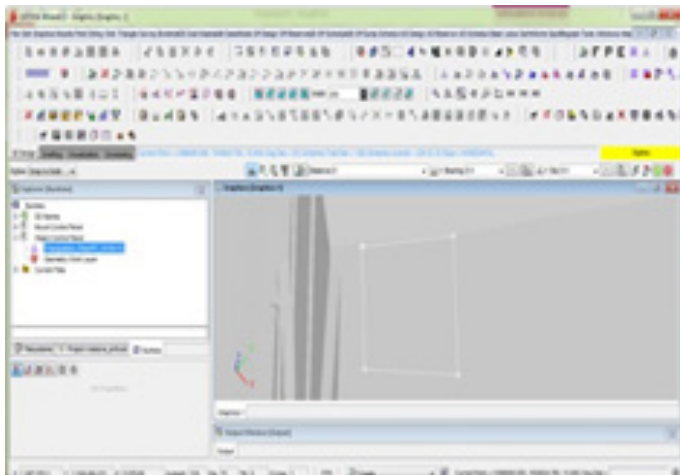


Figura 2: Delimitación del área a volar.

Para el desarrollo de esta variable se ubicó en el modelo de terreno digital (solido de la topografía del terreno) del tajo, con las especificaciones dimensionales requeridas el área donde se va a llevar a cabo el proceso de perforación y voladura.

Configuración del diseño (blast pattern setup)

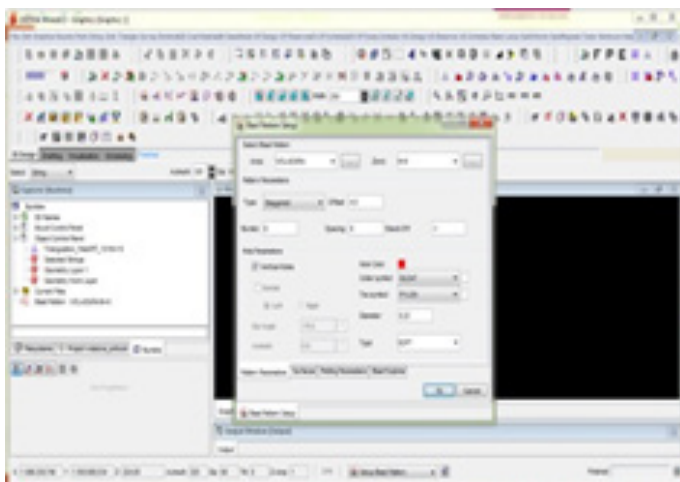


Figura 3: Configuración del diseño.

En la realización de este paso se ejecuta el comando blast, opción blast pattern setup, pattern parameters donde se despliega una ventana de configuración, en la cual se digitan variables de diseño como: burden, espaciamiento, sobre-perforación, diámetro del taladro, resistencia de la roca, tipo de malla, tipo de perforación.

Digitalización de profundidad

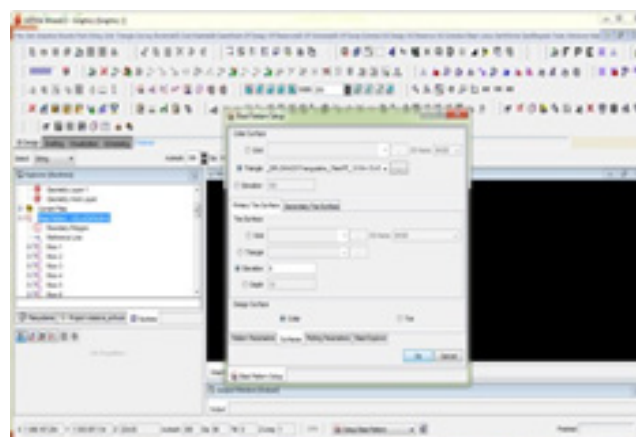


Figura 4: Digitalización de la profundidad de los barrenos.

Para la digitalización de la profundidad de los barrenos se tuvo en cuenta el nivel en el que se encuentra la topografía de nuestra área, y el nivel al cual se desea llegar con la voladura.

Digitalización de diseño de gráficos

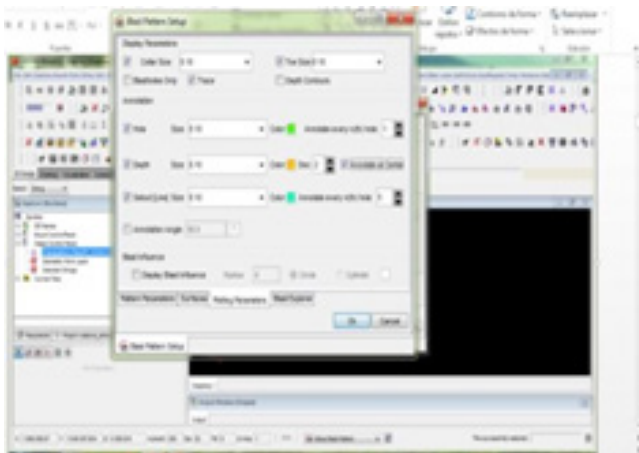


Figura 5: Digitalización de diseños de gráficos.

En esta ventana de configuración se ingresaron las características visuales del diseño de los barrenos.

Línea de referencia para filas

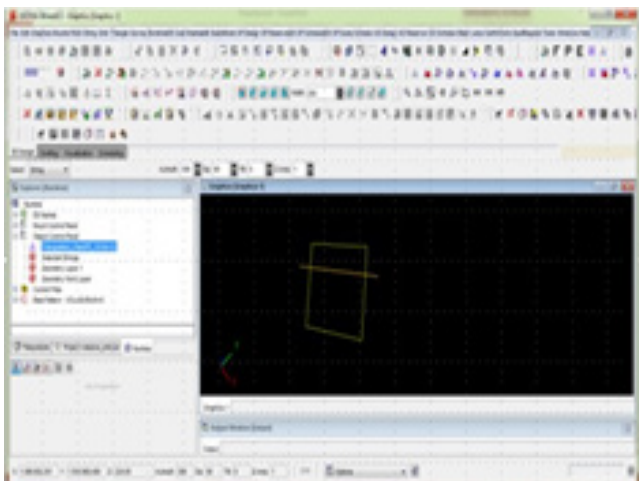


Figura 6: Línea de referencia para ubicación de las filas.

Para la designación geométrica de las filas se trazó una línea que corta perpendicularmente el área donde se va a diseñar nuestra perforación, para lo cual se dirige al módulo blast, comando reference line y posteriormente se realiza el trazado.

Línea de referencia para la dirección de los pozos

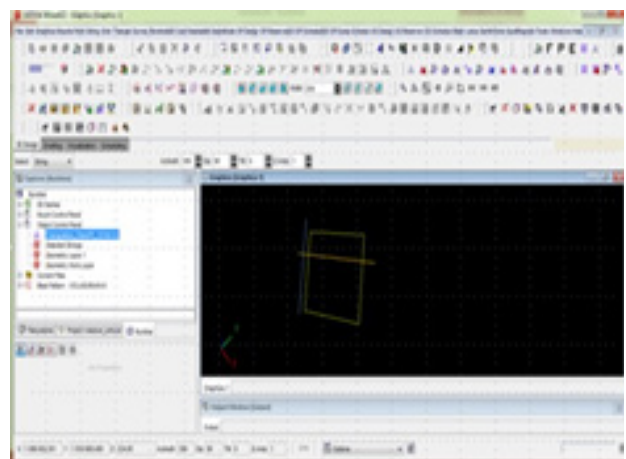


Figura 7: Línea de referencia para la dirección de los pozos..

Para el alineamiento de los barrenos en nuestra área de voladura se desarrolla a través del módulo blast, comando setout line una línea perpendicular a la línea de la designación geométrica.

Generación de filas

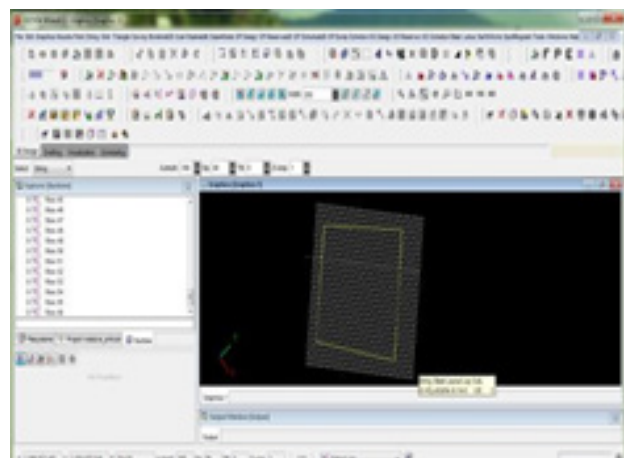


Figura 8: Generación de filas.

Tomando como referencia las líneas de designación geométrica y la de alineamiento de barrenos se generan las filas de tal forma que recubran el área de nuestro diseño.

Despliegue de pozos

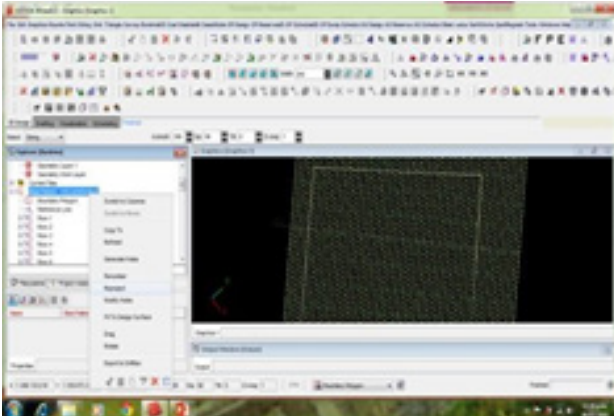


Figura 9: Despliegue de pozos.

Se ubica la configuración elaborada, se digita clip derecho y la opción genere holes e inmediatamente se despliegan los pozos a lo largo de las filas anteriormente generadas.

Proyección de barrenos

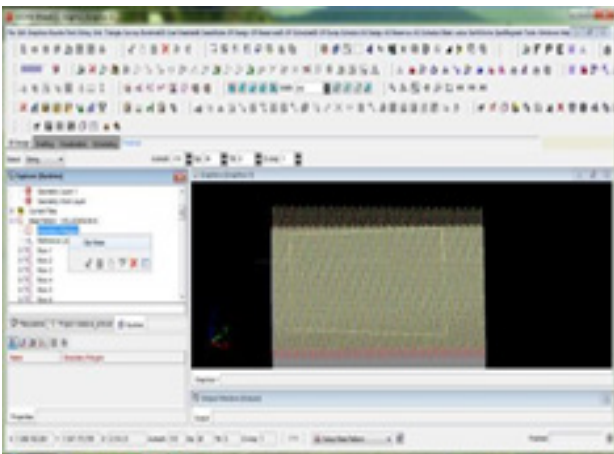


Figura 10: Proyección de barrenos.

Para la proyección de los barrenos y poder desplegar las profundidades de cada pozo se ejecutó el comando reprojec holes en las configuraciones del diseño.

Diseño de voladura completo

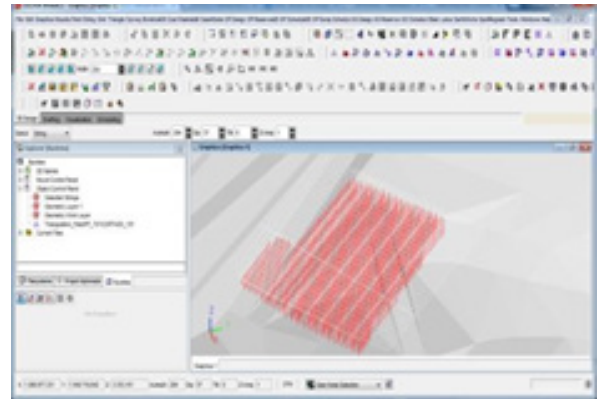


Figura 11: Diseño de voladura completo.

Habiendo proyectado los barrenos y ubicando el software en una vista favorable es posible visualizar el diseño de la voladura, correspondiendo este con las configuraciones ingresadas.

Generación de resultados

Para la obtención de los resultados finales, se ejecuta el módulo blast y el comando drill's report y el software genera automáticamente todos los datos de cantidad de explosivo, metros perforado, número de pozos, tasa de perforación y factor de carga.

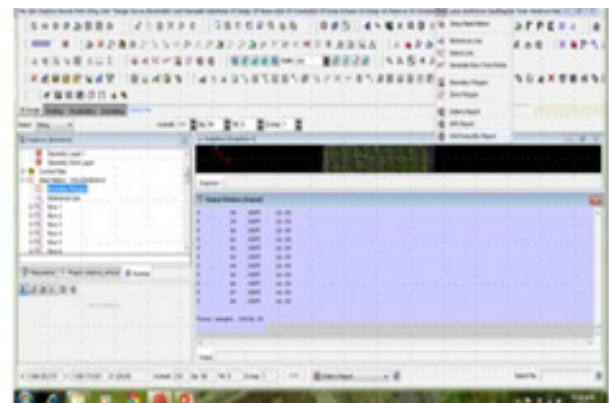


Figura 12: Generación de resultados.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para facilitar la comparación de los resultados obtenidos, estos se han ubicados en la siguiente tabla:

	M.MANUAL	MINEX
# Pozos	117	112
Kg de explosivos	24896,43	23800
M. Lineales perforados	1347,84	1220,10
Tiempo(min)	45	5

Analizando cada uno de los resultados obtenidos en ambos métodos de diseño de voladura es factible visualizar que el método manual arrojó valores menos precisos, debido a que los cálculos en la calculadora se limita el nivel de detalle de los resultados; con respecto al número de pozos, los kilogramos de explosivos, los metros perforados, se puede observar que difieren en un amplio porcentaje, tomando como valor más preciso el arrojado por el módulo blast del software minex, puesto que este permite una evaluación de barrenos que permite corroborar que todos los pozos se han realizado con las profundidades y configuraciones preestablecidas, opción que es muy difícil de revalidar a través del método manual, porque la única forma de comprobarlo sería ejecutándolos en campo, acción que representa una inversión económica.

Posteriormente uno de los análisis más representativos está reflejado en el tiempo que se necesita para el desarrollo de cada uno de los métodos de diseño, puesto que al ejecutar el diseño de forma manual el tiempo utilizado fue cronológicamente mucho mayor que al necesitado en el software, en el cual con todas las variables de diseños claras solo se hace necesario de algunos minutos, de igual forma el grado de confiabilidad de los datos es mucho menor por parte del método manual puesto que al ser ejecutado manualmente mediante repetición consecutiva de cálculos es más fácil equivocarse, esto comparado con la confiabilidad de un sistema que ejecuta con alto grado de precisión cálculos algorítmicamente contenidos en su sistema operativo.

CONCLUSIONES

Como se ha plasmado anteriormente, la optimización de las operaciones mineras le garantiza a las empresas explotadoras mayor rentabilidad a lo largo del tiempo; con base a esto se puede concluir que la implementación del software Minex en el planeamiento de la voladura beneficia las ganancias, ya que gracias a su alta precisión permite optimizar los precios operacionales, como se puede apreciar en la comparación de los resultados entre el método manual y los arrojados por software; ejemplos puntuales son:

- la disminución del presupuesto debido a que los kilogramos de explosivos requeridos para realizar la voladura es menor.

- la vida útil de los taladros aumenta, ya que los metros lineales perforados disminuye considerablemente.

Sin embargo, la mayor ventaja de la implementación del software es la disminución del tiempo en la que se realizan los cálculos, lo que para la industria minera es sinónimo de minimización de costos.

Para terminar, se hace indispensable plasmar que al desarrollar un buen diseño computarizado (software) de diseño de voladura en minería es indispensable para la ejecución de un programa extractivo eficiente, donde se obtengan satisfactorios resultados, por tal motivo es primordial como ingenieros en potencia obtener destreza en programas de diseño como minex en donde podamos plasmar las variables de diseño (diámetro de perforación, profundidad de barrenos, densidad del explosivo, burden, espaciamento, dureza de la roca, tipo de perforación, entre otros) más importantes en el diseño de un proceso de perforación y voladura, de una forma que nos permita visualizarlos antes de ejecutarlos, para de esta forma poder condicionarlos a los recursos con los que contamos y las condiciones en las que nos encontramos; y en ese orden de ideas obtener un diseño que nos mantenga los márgenes de rentabilidad que la empresa exige.

REFE RENCIA

Afeni, T. Osasan, S. (2009) Assessment of noise and ground vibration induced during blasting operations in an open pit mine. A case study on Ewekoro limestone quarry, Nigeria. Mining science and technology. Nigeria.

Cárdenas, M. y Reina, M., 2008. La minería en Colombia: Impacto Socioeconómico y Fiscal. 1st ed. Colombia: Fedesarrollo.

Castillo S., Bladimir J. (2002). Analisis y evaluación técnica de la implantación del software drill & blast de MINCOM a las operaciones de perforación y voladura de la mina paso diablo, municipio Páez, estado Zulia. (Tesis de Pregrado, Universidad Central de Venezuela). Recuperado de [http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/107/1/Trabajo%20Especial%20de%20Grado%20\(U\).pdf](http://saber.ucv.ve/xmlui/bitstream/123456789/107/1/Trabajo%20Especial%20de%20Grado%20(U).pdf)

Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A, (2009). Manual Práctico de Voladura, International Journals of Rock Mechanics & Mining Sciences.

Darlington Mensah. (2012). Un software para el diseño de voladuras en minería a cielo abierto. (Tesis de pregrado, Escuela técnica superior de ingenieros de minas). Recuperado de http://oa.upm.es/14005/1/PFC_DARLINGTON_MENSAH.pdf

Díaz, J. C., Guarín, M. A., Jiménez, J. A. (2012). Análisis y diseño de la operación de perforación y voladuras en minería de superficie empleando el enfoque de la programación estructurada. Boletín Ciencias de la Tierra, Nro. 32, pp. 15-22.

Hustrulid, W y Kuchta, M. (2006). Open pit mine planning and desing. Taylor & Francis plc. London, UK.

Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). (1987). Manual de perforación y voladura de rocas, Madrid, España. 1º Edición.