
MODELO DE BLOQUES PARA UN YACIMIENTO DE SULFUROS MASIVOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MINESIGHT®

BLOCKS MODEL FOR A DEPOSIT OF MASSIVE SULPHURS USING THE MINESIGHT® SOFTWARE

Giovanni Franco Sepúlveda & Adrián Felipe Gallo Sierra²

- 1. Doctor (c) en Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Profesor Escuela de Ingeniería de Materiales y líder del Grupo de Investigación en Planeamiento Minero, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Medellín, Colombia.*
- 2. Ingeniero de Minas y Metalurgia, Universidad Nacional de Colombia. Investigador, Grupo de Investigación en Planeamiento Minero, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
gfranco@unal.edu.co afgallo@unal.edu.co*

Recibido para evaluación: 1 de Septiembre de 2011 / Aceptación: 30 de Octubre de 2011 / Recibida versión final: 16 de Noviembre de 2011

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es definir un modelo de bloques de un yacimiento hipotético de sulfuros masivos utilizando MineSight®, basado en la interpretación geológica, la viabilidad, planificación estratégica y la programación de los procesos a largo y corto plazo de las alternativas de producción y la capacidad requerida de la mina.

Primero se presentan una descripción de los software minero más representativos del mercado en cuanto a la planeación minera, después se presentan las generalidades de MineSight®, por medio de un flujo básico de procesos y programación del MineSight®, seguidamente se muestran los datos de valoración económica para el caso de aplicación por medio de una descripción del secuenciamiento en este software y finalmente se presenta el modelo de bloques del yacimiento hipotético de sulfuros masivos, además el diseño del pit final con la disposición de botaderos y la planta de beneficio.

Como conclusión se presenta una tabla resumen de las variables estadísticas que arroja MineSight®, con esta información crear un programa a largo plazo para el análisis financiero del proyecto y optimización de la planeación minera del yacimiento de interés.

PALABRAS CLAVE: MineSight®, modelo de bloques, yacimiento, diseños de pit, largo plazo, geomodelamiento, perforaciones, sulfuros masivos, Colombia

ABSTRACT

The aim of this work is to define a block model of a hypothetical massive sulphurs deposit using MineSight®, based on geological interpretation, feasibility, strategic planning and programming processes short and term long alternatives for production and the required capacity of the mine.

First present a description of the mining software market more representative in terms of mine planning, then presented the generalities of MineSight®, through a basic process flow and programming MineSight®, then shows the valuation data economic in the case of application by a description of the sequencing in this software and finally presents the block model of hypothetical massive sulphurs deposit, plus the final pit design with the provision of dump and processing plant.

As a conclusion, a summary table of statistical variables resulting in MineSight® with this information to create a long-term program for the financial analysis of the project and optimization of mine planning the deposit of interest.

KEY WORDS: MineSight®, blocks model, deposit, pit designs, term long, geomodelling, drill holes, Massive sulfide, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, se ve la necesidad de tener conocimiento de software especializado en minería, el origen de este trabajo se enfoca en el empleo de la herramienta MineSight® para el diseño de un modelo de bloques que se genera a partir de datos hipotéticos y así describir de manera práctica y óptima la explotación de un yacimiento de sulfuro masivos, lo que da una visión global del negocio minero en todos los aspectos que afectan y/o que se podrían ver afectados, como los ahorros en tiempo y costos para los procesos de dicha labor minera.

Con el fin de aportar al modelamiento de los yacimientos del país y al aumento de los estudios de exploración y explotación, el usuario se encarga de digitalizar, cargar, modelar, programar, planear y la herramienta MineSight® facilita la tarea de forma efectiva para la extracción de dichos yacimientos minerales, lo cual se ve reflejado en los diseños del pit final que arrojan envolvente económicamente rentable de extraer, lo que forma parte de la sostenibilidad de la explotación a corto y largo plazo.

Este trabajo desarrolla un modelamiento general para un yacimiento hipotético de sulfuros masivos en el cual el mineral de interés es el Cobre (Cu), donde se desarrolla una serie de procesos como: datos digitalizados, ensayos de sondajes, modelo de la mina, diseños de pits, visualizar en 3-D, interpolar y ejecutar proyecciones a largo y corto plazo y la planificación para la valoración económica del proyecto, también un modelo de bloque 3-D donde el yacimiento es dividido verticalmente en bancos, para cada bloque en el modelo, se pueden almacenar una variedad de ítems. Típicamente, un bloque para un modelo 3-D contendrá los ítems de ley, los códigos geológicos y un porcentaje topográfico. Los datos de calidad se ingresan mediante una técnica de interpolación por lo regular, tal como el Kriging o la ponderación del inverso a la distancia. Una vez construido el modelo, éste puede ser actualizado, resumido estadísticamente, ploteado en plan o sección y contornado en plan o sección. El modelo es un requisito necesario en cualquier diseño de pit o proceso de evaluación de pit.

Para la culminación y muestra de resultados se presenta un resumen estadístico de las variables de diseño, columnas con una suma positiva (la cual nos da a entender el valor por la cantidad de bloques explotados y los que no se tiene ningún interés) y seguidamente un resumen estadístico de las variables del pit arrojados por el programa MineSight®, estos datos tomados para generar la valoración financiera del proyecto y tener una planeación a largo plazo factible.

2. SOFTWARES MINERO Y GENERALIDADES DEL MINESIGHT®

2.1. Software mineros

En la actualidad se utilizan una variedad de herramientas para el planeamiento minero estratégico, con el objetivo de modelar y optimizar los recursos, presentando datos e imágenes en 3-D de la realidad del yacimiento, dentro de los principales software minero se encuentran: Gemcom Surpac™, CAE Mining y Maptek Vulcan™.

A continuación se describe de manera general algunos softwares de planeamiento minero para el modelamiento de yacimientos más representativos del mercado, en el mismo orden que se enunciaron anteriormente:

- a.) **Gemcom Surpac™:** Es el software de planeamiento minero y geología más popular del mundo, apoyado en operaciones a cielo abierto y subterráneas para proyectos de exploración en más de 110 países. El software ofrece una eficiencia y precisión gracias a la facilidad de su uso, potentes gráficos 3D y la automatización del flujo de trabajo que pueden ser alineados a la empresa específica con los procesos y flujos de datos. (Gemcom Surpac, 2011).
- b.) Surpac dirige todas las exigencias de geólogos, topógrafos, e ingenieros de minas en el recurso del sector y es flexible en la presentación del producto, mineral y método minero. Sus capacidades multilingües permiten a empresas globales para apoyar una solución común a través de sus operaciones. (Navarrete y Varas, 2011).

- c.) **CAE Mining:** Es el resultado de la adquisición por parte de CAE de Datamine, proveedor líder de herramientas de software y servicios para la minería. CAE es el líder mundial en el suministro de tecnologías de simulación, modelamiento y de soluciones integradas de entrenamiento para la industria aeronáutica y las fuerzas de defensa en todo el mundo. (CAE Mining, 2011).
- d.) La adquisición fue parte de la estrategia de largo plazo de CAE para utilizar sus capacidades en modelamiento, simulación y entrenamiento en nuevos mercados que tienen el mismo imperativo de reducción del riesgo y mejoramiento de la eficiencia operacional que existe en la aviación civil y las instituciones de defensa. La adquisición de Datamine ha promovido el ingreso de CAE en el sector minero, donde actualmente provee servicios profesionales. CAE aplicará su experiencia en el modelamiento, simulación, optimización de procesos y desarrollo de centros de operación remota para la minería. (Turner-Saad, 2011).
- e.) **Maptek Vulcan™:** Este software proporciona al usuario un modelamiento en 3-D interactivo y el paquete de planificación minera. Es la solución total de la opción para las empresas mineras más grandes y mejores del mundo. Desde la geología hasta la planificación de la mina y la programación; Vulcan ofrece una funcionalidad, eficiencia y productividad a sus clientes en todo el mundo con más de 4.000 licencias instaladas en 800 sitios en todo el mundo. (Maptek Vulcan, 2011).

2.2. Generalidades del MineSight®

MineSight® proporciona todas las herramientas interactivas que se necesita para crear y administrar su funcionamiento. Como resultado de ello, va más allá de MineSight básicos CAD con herramientas innovadoras para ayudar con las tareas más complejas. Estas herramientas le permiten determinar con confianza las reservas explotables, diseño de corte sencillo y amplias opciones de diseño de Drill Holes que permiten la manipulación de la superficie total, herramientas para el patrón de explosión al final de cada período en los mapas, pit final definidos, la vida útil de las minas y la programación de la fase, diseño de carretera/rampa, botaderos de estéril y mena; aparte entrega a los usuarios herramientas completas para la explotación a cielo abierto y subterránea. (MineSight® Mintec, 2011).

A continuación en la Tabla 1, se presenta el flujo de procesos para realizar en MineSight® el planeamiento minero del yacimiento de interés.

Tabla 1. Flujo básico del MineSight®

SECUENCIA DE PROCESOS	PROGRAMACIÓN	OBSERVACIONES
Datos digitalizados	Digitalizar, cargar, editar, listar, pasar plotear, visualización 3-D	<ol style="list-style-type: none"> 1. Define la información geológica en el plano o en una sección. 2. Detalla contornos topográficos, define información estructural, diseños de mina.
Project Control File (PCF)	Inicializar, actualizar	<ol style="list-style-type: none"> 1. Archivo gobernante dentro de MineSight®. 2. Define las características y los límites del proyecto. 3. Es inicializado sólo una vez al principio del proyecto. Éste contiene: <ol style="list-style-type: none"> 1. La identificación de proyecto. 2. Los límites geométricos. 3. El tipo de modelo 4. Las unidades métricas. 5. La tabla con los nombres de los archivo.
Ensayes de sondaje	Ingresar, explorar, cargar, editar, listar, pasar, girar, agregar geología, estadística, variogramas, ploteos, cálculos especiales, visualización 3-D e interpolación	Almacena datos de sondaje, incluyendo, códigos litológicos y geológicos, información de collar (coordenadas y orientación de barrenos) y datos de levantamiento a lo largo del sondaje.

SECUENCIA DE PROCESOS	PROGRAMACIÓN	OBSERVACIONES
Compósitos	Cargar, editar, listar, pasar, agregar geología, estadística, variogramas, validar, cálculos especiales, ordenar, visualización 3-D e interpolación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcula los compósitos por banco (para la mayoría de las minas de metales básicos para mostrar el valor de interés. 3. Estos datos pueden ser listados, actualizados, analizados geoestadística y estadísticamente, y ploteados en planos o secciones y visualizados en 3-D.
Modelo de mina	Inicializar, interpolar, agregar geología, agregar topografía, estadística, reservas, cálculos especiales, plotear contornos, imágenes 3-D e construcción de sólidos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza un modelo 3-D de bloque para modelar yacimientos de metal básico tal como el cobre. 2. Un bloque del modelo 3-D contendrá ítems de tenor de corte, códigos geológicos y porcentajes topográficos. 3. Se actualiza, resume estadísticamente, plotea en planos o en secciones, contornea y se visualiza en 3-D. 4. Requisito necesario para todo diseño de pit o proceso evaluativo de pit.
Diseños de pit	Crear modelo, Ejecutar, Reservas, Ploteos, imágenes 3-D	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las rutinas trabajan en bloques enteros desde el modelo de bloques 3-D. 2. Se utiliza el algoritmo de "cono flotante" o de Lerchs-Grossmann para encontrar los límites económicos de los pits para distintas estimaciones económicas. 3. Se ingresan los costos, el valor neto del producto, los tenores de corte y el ángulo de talud de la pared del pit. 4. Se usa la topografía original como la superficie inicial para el diseño y para generar nuevas superficies que muestren los diseños económicos.
Planificación y programación	Largo plazo y Corto plazo	<p>Los parámetros básicos que se ingresan para cada período de producción incluyen la capacidad de molienda, la capacidad de la mina y los tenores de corte.</p> <p>Las funciones disponibles mediante los programas para la programación incluyen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El cálculo e informe de producción para cada período, incluyendo la producción de molienda según el tipo de mineral, las leyes de cabeza de molino y el estéril 2. La preparación de mapas de período de fin de producción 3. El cálculo y almacenamiento de programas de mina anuales para el análisis económico 4. La evaluación de las velocidades alternativas de producción y la capacidad requerida de mina.

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 1, se concluye todo el análisis de la programación en Minesight y sus alcances en el modelamiento de un yacimiento. Además se presentan unas observaciones que entregan información adicional para el manejo de cada proceso o en lo que se podría aplicar.

Se utiliza MineSight® por las siguientes características de manejo:

- a.) La manipulación de datos se maneja desde un mismo archivo de control.
- b.) Integra varias operaciones unitarias a la vez y las optimiza como: cargue y transporte, perforación y fragmentación, extracción, entre otras; lo que genera mayor progreso en el diseño y planeación minera.
- c.) Se edita constantemente el diseño con las herramientas CAD, sin tener la necesidad de crear tantos archivos alternos para el modelamiento del mismo y aparte de esto genera una envolvente económica más acertada según los valores económicos de entrada. (Pit final).

3. CASO DE APLICACIÓN

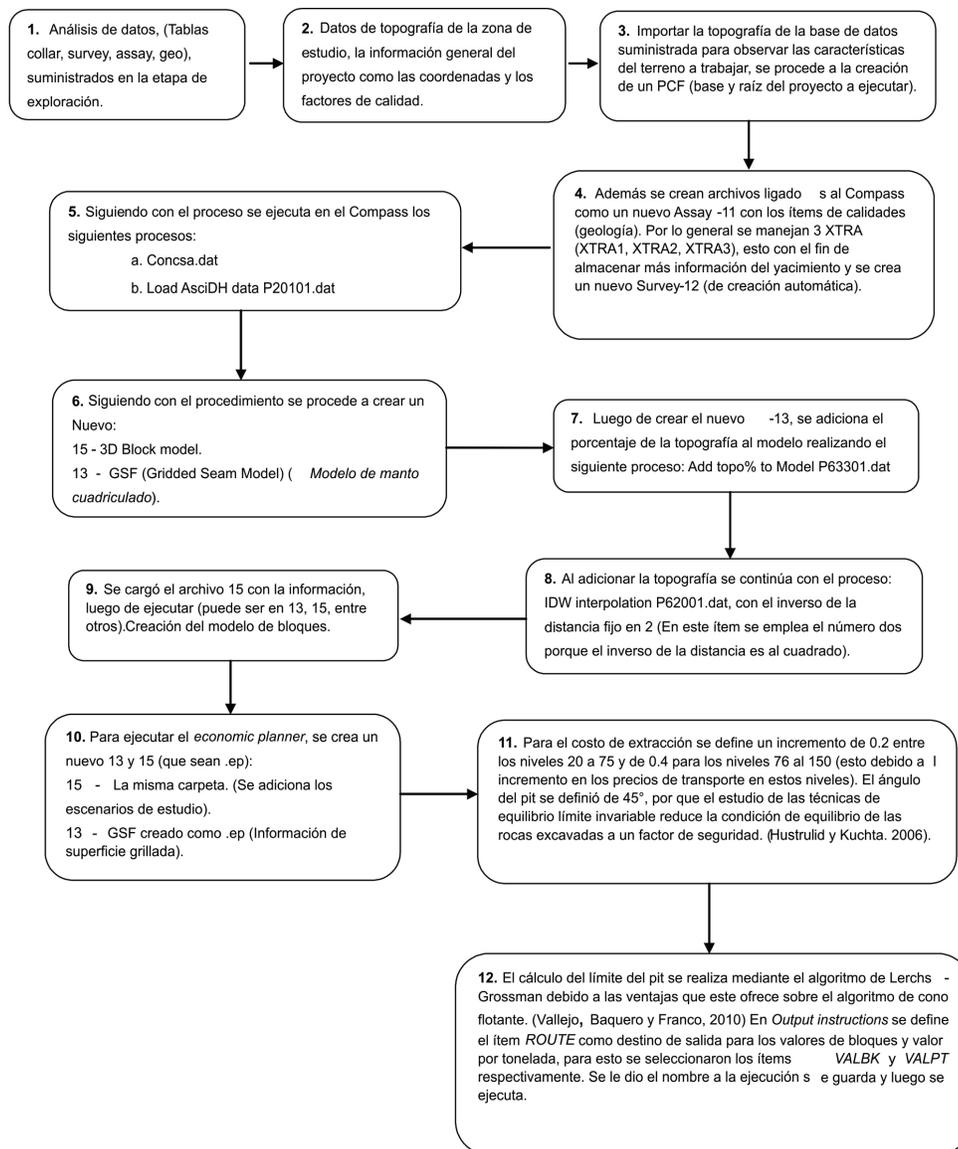
3.1 Valoraciones económicas

A continuación se enumeran y se describen los datos de partida para el modelamiento de un yacimiento de sulfuros masivos, asumiendo que los datos y el modelo son hipotéticos.

- f.) Recuperación: Para el Cu es de 85% y para el Molibdeno (Mo) es de 50%, (Se debe a que el Cu es el mineral de mayor interés y posee una mayor recuperación).
- g.) Precios de extracción del mineral: Para el Cu es de US\$ 7.521,54/t (UPME, 2011) y para el Mo de US\$32.752/t (LME Molybdenum, 2011).
- h.) El costo de extracción de las menas (Cu y Mo): US\$1.5/Ton.
- i.) El costo de procesamiento de menas (Cu y Mo): US\$4.0/Ton.
- j.) Costos de mineral estéril extraído (Cu y Mo): US\$1.5/Ton.
- k.) Costo de procesamiento de estéril: US\$0/ton.
- l.) Tenor de corte: 0.5 gr/ton (Geoestadística).

3.2. Secuencia MineSight®

A continuación se muestra en un flujograma los principales pasos para la realización del proyecto de explotación para el yacimiento hipotético de sulfuros masivos por medio del análisis de un modelo de bloques:



En la Figura 1, se describen algunos de los procesos y datos utilizados para realizar la interpretación de datos arrojados por los diferentes procesos ejecutados, además del manejo de las funciones CAD y las herramientas que tiene integradas el software para el diseño y planeamiento minero. Esto ligado a los pasos 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12, en el secuenciamiento en MineSight®.

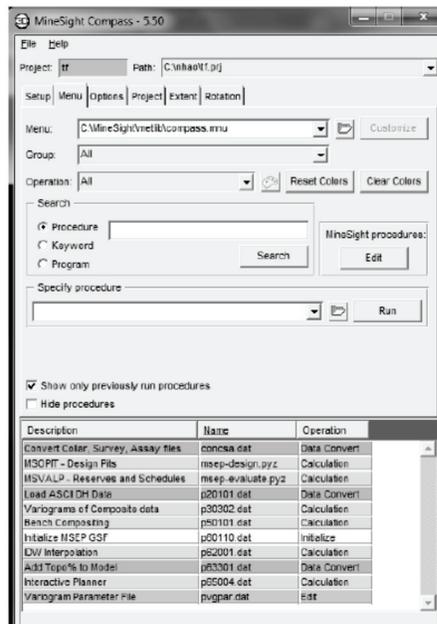


Figura 1. Proceso Compass

Fuente: MineSight®

De la figura 1, se aprecian los procesos llevados a cabo para la interpretación del modelo de bloques como: *MSOPIT*, para la creación de la envolvente final de mineral de interés; el *Bench Compositing*: Arroja una imagen en 3-D con las calidades según su tenor de corte; el *Interactive planner*: Es el cálculo por cada uno de los bloques para diferenciar el estéril de la mena; y el *Initialize MSEP GSF*: Es el proceso que selecciona la aproximación del algoritmo para el diseño de la envolvente final o pit, teniendo en cuenta los parámetros económicos del yacimiento; entre otros procedimientos puestos en marcha para el modelamiento del yacimiento hipotético de sulfuros masivos:

En la Figura 2, se muestra el modelo de bloques del yacimiento hipotético de sulfuros masivos, con base al paso 9 después de haber cargado y ejecutado dicha información.

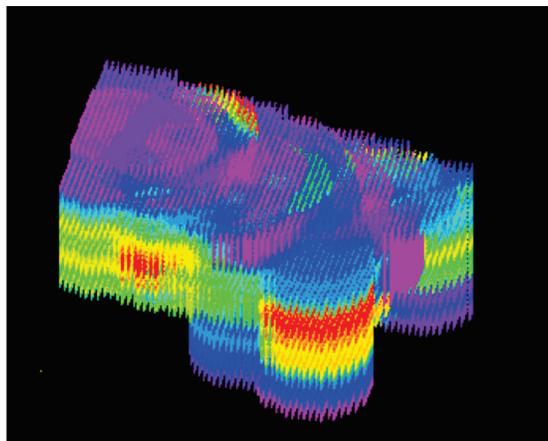


Figura 2. Modelo de bloques. Fuente: MineSight®

De la figura 2, se puede observar las calidades de tenor de corte, para los colores rojo, amarillo y verde claro, es donde se concentra la cantidad económicamente rentable y de mayor recuperación para la extracción del mineral.

En la Figura 3, se ilustra el pit base para la extracción del mineral de interés el Cu, con base en el paso 12 del secuenciamiento del MineSight®.

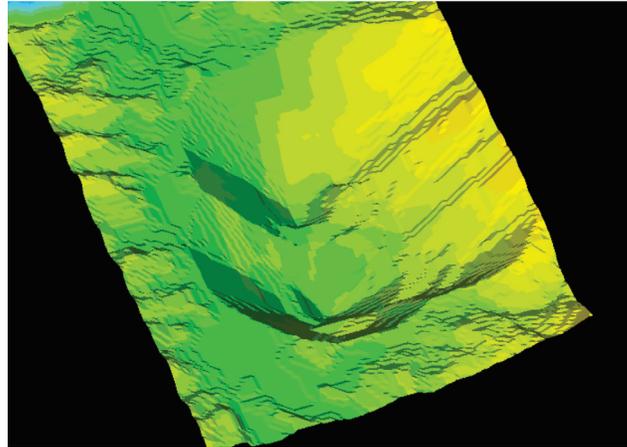


Figura 3. Pit base del yacimiento hipotético
Fuente: MineSight®

De la figura 3, se observa la imagen final del pit base para la generación y control de la extracción del recurso.

En la Figura 4, se presenta Pit final con la disposición de botaderos y planta de beneficio, distribuidos en la zona de estudio hipotético de sulfuros masivos. Con base en los criterios del paso 12 del secuenciamiento y en este caso hipotético basados en el conocimiento de las personas encargadas de la ejecución del modelamiento (Planeadores mineros y geólogos modeladores) que se encargaron de los diseños y la ubicación espacial de caminos , botaderos y planta de beneficio, pero hay que aclarar que para realizar dichas ubicaciones en proyectos mineros se debe tener en cuenta la evaluación financiera en cuanto a incrementos en los costos de acarreo y costos de los sistemas de cargue y transporte además de la disponibilidad volumétrica de las zonas a botar, la factibilidad territorial, criterios propios de los dueños de la compañía que explota el depósito, entre otros criterios.

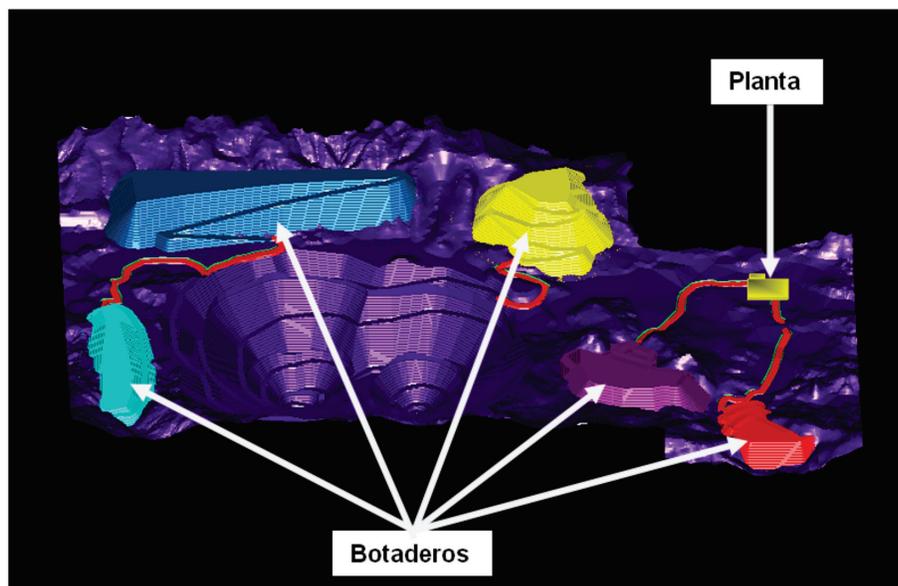


Figura 4. Pit final con disposición de botaderos y planta de beneficio
Fuente: MineSight®

De la figura 4, se aprecia que partiendo de la topografía inicial donde se encuentra el yacimiento hipotético de sulfuros masivos, se genera la distribución de los botaderos de la mina y la planta, siendo este un plan a largo plazo extendido para la durabilidad del proyecto.

En la tabla 2, se presenta el resumen de las variables estadísticas que arroja MineSight®, como parámetros económicos y distribución de la cantidad de bloques explotados para el análisis financiero del proyecto.

Tabla 2. Resumen de las variables estadísticas arrojadas por MineSight®.

Resumen estadístico de las variables de diseño			
Número de columnas	15.000	-	-
Número de bloques definidos	1.420.055.	Valor (US\$)	10'760.529.920.
Número de bloqueos positivos	125.643	-	-
Número de bloqueos negativos	1.294.412	-	-
Resumen de columnas con una suma positiva			
Número de columnas	3.527	-	-
Número de bloques	141.226	Valor (US\$)	10'604.870.656.
Número de bloques positivo	125.028	Valor (US\$)	10'750.646.272
Número de bloques de negativo	16.198	Valor (US\$)	(145.768.896)
Resumen estadístico de las variables del pit			
Total de bloques positivos	125.643	-	-
Bloques positivos en el pit	69.464	-	-
Bloques negativos en el pit	26.637	-	-
Porcentaje de los bloques extraídos positivos	% 55,29	-	-
Ratio de Neg / Pos bloques extraídos	% 0,3835	-	-
Toneladas Totales	1'355.060.118.	-	-

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 2, se observa la cantidad de datos del proyecto como valoración a largo plazo, teniendo en cuenta que estas valoraciones económicas se pueden modificar en el tiempo, pero se evidencia los primeros parámetros de inversión inicial para poner en marcha el proyecto de extracción del yacimiento de sulfuros masivos.

4. CONCLUSIONES

A continuación se enumeran algunas de las conclusiones que surgen de la elaboración de este artículo.

- A. Se puede utilizar el software MineSight® para tomar datos crudos de origen estándar (sondajes, muestreos subterráneos, barrenos de voladura, información topográfica, entre otros), la estimación de reservas y crear un programa a largo plazo para el análisis financiero de un proyecto.
- B. MineSight permite al usuario tener el control de las operaciones realizadas sobre el yacimiento, proporcionando un nivel de confiabilidad por la proyección final de pit para su análisis económico y por medio de una secuencia de procesos, facilitar la guía del diseño para que sea consistente con el modelo hipotético arrojado.
- C. Para el resultado de la optimización del pit final, se eligió el algoritmo de Lerchs-Grossmann por encima del cono flotante, ya que este algoritmo arroja el contorno óptimo del máximo valor del pit para la extracción económicamente rentable, ya que este algoritmo permite mayor cantidad de iteraciones y modela de manera cercana el pit final.
- D. En el mundo hay software de planeamiento minero importantes por sus especificaciones pero en la secuencia de sus procesos es diferente, pero la claridad y el fin de cada programa es la estrategia económicamente rentable y útil de la extracción del recurso por medio de los parámetros contenidos desde la etapa de exploración hasta su puesta en marcha en la etapa de explotación con datos precisos del día a día (siendo este plan corto plazo) y periodos anuales (siendo este plan de largo plazo).

- E. Se tiene que el precio de extracción para el Cu es de US\$ 7.521,54/t y con el resultado del resumen estadístico arrojado por el software MineSight®, da como el resultado del precio de extracción del yacimiento de interés con un total de: US\$ 10'760.529.920, para los bloques definidos en la planeación estratégica y financiera del proyecto.
- F. Las rutinas utilizadas por Minesight® trabajan en bloques enteros del modelo de bloque 3D, y usa la técnica denominada Floating Cone (Cono flotante) para diseñar un conjunto de pits económicos. Por lo regular se usa una ley o ítem de ley equivalente como el material económico. Se ingresan costos, valor neto de un producto, leyes de corte y talud de pared de pit y diversos índices de calidad que permiten al planeador o diseñador tener un mayor rango de exactitud en los modelamientos.

REFERENCIAS

- CAE Mining. 2011 [En línea]. [Consulta 29 julio 2011]. Disponible en Internet: <http://www.cae.com/mining/newsletter/2011/sp/01/CAEMiningBorn.html>
- Cerda, R., y Arellano, R., 2011. Evaluation of a grade control system at Los Bronces mine. Proceedings second international seminar on mine planning,
- Gemcom Surpac. 2011 [En línea]. [Consulta 29 julio 2011]. Disponible en Internet: <http://www.gemcomsoftware.com/products/surpac>
- Hustrulid, W y Kuchta, M., 2006. Open pit mine planning & design. Taylor & Francis plc., London, UK.
- LME Molybdenum, 2011[En línea]. [Consulta 07 agosto 2011]. Disponible en Internet: http://www.lme.com/downloads/LME_Molybdenum_Jul11_-_Monthly_Trading_Report.pdf.
- Maptek Vulcan, 2011 [En línea]. [Consulta 29 julio 2011]. Disponible en Internet: <http://www.maptek.com/products/vulcan/bundles/index.html>
- Mintec 2000, 2011. Manual de introducción a las aplicaciones geológicas, Chile.
- MineSight®, 2011. Introducción al modelamiento 3D.
- MineSight® software solutions from Mintec, INC., 2011 [En línea]. [Consulta 29 Julio 2011]. Disponible en Internet: <http://www.minesight.com/products/design.php>
- MineSight® y la tecnología informática de última generación. [En línea], [Consulta 28 junio 2011]. Disponible en Internet: http://www.minesight.com/enl/December_2010/Diciembre/Multithreading-esp.pdf.
- Navarrete, S y Varas, C., 2011. Works on Global Optimizer – What is it now?. Proceedings second international seminar on mine planning.
- Paul. B. C., 2007. A Pit Sequence Optimized With Multi-Pit. The Name MineSight® and the Program described are property of Mintec Inc – Tucson, Arizona.
- Pendola, M., Castañeda, C., 2011. Phases generation and optimization. Proceedings second international seminar on mine planning.
- Turner-Saad, G., 2011. A joint cut and fill mining and mineral processing methodology for the strategic mine planning process. Proceedings second international seminar on mine planning.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética), 2011. Boletín Estadístico de Minas y Energía 1990 – 2010.
- Vallejo, M., Baquero J. y Franco G., 2010. Análisis de los algoritmos de optimización minera: cono flotante y Lerchs-Grossmann utilizando Gemcom Surpac y UPL. Boletín de Ciencias de la Tierra. Número 28. Medellín.

