

Implementation of Software SimSched Direct Block Scheduler for a polymetallic deposit modifying geometric variables

David Oliveros-Sepúlveda^a, Eliana Hijuelos-Franco^a, Jenis Margoth Trespalacio-Torres^a & Giovanni Franco-Sepúlveda^b

^a Grupo de Planeamiento Minero Giplamin, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. doliveross@unal.edu.co, hijuelosf@unal.edu.co, jmtrespalaciot@unal.edu.co

^b Grupo de Planeamiento Minero Giplamin Departamento de Materiales y Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. gfranco@unal.edu.co

Received: August 19th, 2016. Received in revised form: November 23th, 2017. Accepted: December 07th, 2017

Abstract

The following article intends to study the final pit of a hypothetical polymetallic deposit using the SimSched DBS software, based on a set of consecutive stages such as final pit with nested pits, phase design, operational sequence period by period, among others; this is done through the modification and analysis of geometric variables such as the slope angle, the vertical advance and the bottom of the pit. In addition, the close relationship between the variation of the Net Present Value (NPV) and the modification of the three geometric variables considered above is studied.

Keywords: SimSched DBS; final pit; slope angle; optimal economic value; vertical advance; bottom of the pit; optimization; cumulative VPN.

Implementación del Software SimSched DBS para un yacimiento polimetálico modificando variables geométricas

Resumen

Con el siguiente artículo se pretende estudiar el tajo final de un yacimiento hipotético polimetálico utilizando el software SimSched DBS, basado en un conjunto de etapas consecutivas como tajo final con tajos anidados, diseño de fases, secuencia operacional período a período, entre otros; esto mediante la modificación y análisis de variables geométricas como son el ángulo del talud, el avance vertical y el fondo del tajo. Además, se estudia la estrecha relación entre la variación del Valor Presente Neto (VPN) y la modificación de las tres variables geométricas consideradas anteriormente.

Palabras clave: SimSched DBS; tajo final; ángulo del talud; valor económico óptimo; avance vertical; fondo del tajo; optimización; VPN acumulado.

1. Introducción

Los procesos productivos del sector minero presentan día a día retos en cuanto a la optimización de ellos se refiere, es por esto por lo que ha sido necesaria la búsqueda de software que permitan lograr objetivos operativos y financieros mediante el aumento del valor presente neto (VPN) y la disminución de riesgos.

El software SimSched DBS es un software innovador que permite mediante el suministro de información certera de la mina, utilizar un modelo matemático que está basado en incertidumbres que anteriormente no eran contemplados en la industria minería, permitiendo así trabajar con datos y riesgos reales que pueden ser controlados a tiempo y que posibilitan la disminución de costos de operación y aumentan el valor del proyecto minero.

How to cite: Oliveros-Sepúlveda, D., Hijuelos-Franco, E., Trespalacio-Torres, J.M. and Franco-Sepúlveda, G., Implementation of Software SimSched Direct Block Scheduler for a polymetallic deposit modifying geometric variables. Boletín de Ciencias de la Tierra, 43, pp. 53-58, Enero, 2018.

Esta versión beta del software permite un secuenciamiento de un modelo matemático de bloques de un yacimiento polimetálico hipotético que tiene como fin determinar el destino final de cada uno de estos bloques; según sus características y valor pueden ser enviados a un proceso de recuperación de mineral o para el botadero, estos resultados arrojados en el modelamiento son importantes a la hora de tomar decisiones operacionales y financieras.

También permite además diferenciar y analizar por separado la optimización del tajo final y el secuenciamiento de los bloques directos por las opciones que brinda al momento de realizar un modelamiento que determina el número de períodos y la cantidad extraída de mineral al ingresar datos para realizar la simulación y el posterior análisis de los resultados.

Las variables geométricas suministradas son importantes para el funcionamiento adecuado de este, ya que, determinan de forma directa el valor neto del proyecto y es notable en las simulaciones que las variaciones de estas conllevan a cambios importantes en el VPN acumulado, esto es debido a que en minería el conjunto de parámetros que se utilizan son los que fijan los riesgos y resultados a largo plazo que se obtiene. El ángulo del talud, el avance vertical y el fondo de tajo, son variables que se deben conocer, entender y analizar si se quiere utilizar de forma adecuada una herramienta como el software minero SimShed DBS.

2. Metodología

Se ingresó al software un modelo de bloques de un yacimiento mineral polimetálico hipotético, el cual fue elaborado en la base de datos Marvin (extensión .csv) con una cantidad de bloques de 60, 61 y 17 (x, y, z) y una dimensión de 15mx15mx10m respectivamente, para un total de 139 millones de metros cúbicos, los cuales presentan una distribución no uniforme en la cantidad de metal de interés (oro y cobre). En la Fig. 1 se pueden observar las vistas frontal, lateral y superior (respectivamente) del modelo geológico. [1]

2.1. Software minero SimSched DBS

En la actualidad se utilizan una variedad de software para el planeamiento minero estratégico con el objetivo de modelar y optimizar los recursos, presentando datos e imágenes a escala real de un yacimiento.

SimSched está basado en técnicas de Programación Entera Mixta con la adición de heurísticas propias. Permite que problemas más complejos sean englobados en un único

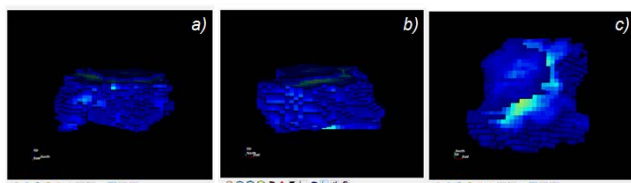


Figura 1. Vista a) frontal, b) lateral y c) superior del modelo de bloques del yacimiento polimetálico hipotético en la plataforma SGEMS by ar2tech.

Fuente: Elaboración propia.

proceso de optimización y que incertidumbres geológicas sean consideradas simultáneamente, resultando en mejores decisiones en la operación, control y reducción de riesgos del proyecto y aumento de valor del mismo.

Su modelo matemático hace uso de superficies, para control preciso de aspectos geotécnicos, y es capaz de incluir cualquier restricción aditiva (producciones, horas de equipo, distancias de transporte, entre otros) y múltiples restricciones de blindaje, a medida que el producto va alcanzando sus etapas planeadas de desarrollo. Es capaz de decidir cuáles bloques explotar, cuándo deben ser explotados y si cada bloque debe ser procesado, descartado o almacenado (optimización de destinos). Es capaz de optimizar leyes de corte al mismo tiempo en que la secuencia es definida y de manera óptima y economizando el tiempo de configuración de parámetros para sucesivas pruebas. [2]

2.2. Consideraciones iniciales

A continuación, se mencionarán los valores de los parámetros económicos y geométricos que no variaron y cuales se introdujeron inicialmente en el programa, estos datos al igual que la base de datos son hipotéticos. La mayoría de estos valores fueron arrojados y sugeridos por el software para el modelo geológico inicial.

- La unidad monetaria con la cual se trabajó fue el Dólar Americano (US \$).
- Unidades de concentración mineral: La concentración del cobre (Cu) se expresó en porcentaje (%) y para el oro (Au) se utilizaron las partes por millón (PPM).
- La densidad promedio de todo el macizo rocoso fue de 2,7 t/m³.
- La tasa de descuento sugerida fue del 10% y el costo de minado fue de US\$ 2,4/t.
- Teniendo en cuenta la dimensión del depósito y del tajo final, se consideró un Stockpile con capacidad para 150000 toneladas.
- Se consideraron 10 períodos de tiempo, en los cuales todos presentan el mismo volumen a explotar, sin embargo, el software modifica (aumentando o disminuyendo) el número de períodos para obtener nuevos volúmenes de extracción con un VPN mayor.

Igualmente es importante mencionar los valores iniciales de las variables que se modificaron:

- El ángulo de talud con el que se trabajó en las variaciones de las dimensiones del fondo del tajo y del avance vertical fue de 40°.
- 10 metros fue el avance vertical empleado en las variaciones del ángulo de talud y de las dimensiones del fondo de tajo.
- La dimensión del fondo de tajo considerada para las variaciones del ángulo de talud y el avance vertical fue de 50 metros.

2.3. Ángulo del talud

El talud de la mina es el plano inclinado que se forma por la sucesión de las caras verticales de los bancos y de las

bermas respectivas. La inclinación del plano respecto a la horizontal está dada por la calidad del macizo rocoso que conforma la mina.

El ángulo de talud es uno de los parámetros geométricos más significativos en la explotación de un tajo, ya que una de las restricciones operacionales más relevantes es garantizar la estabilidad de cada uno de los sectores involucrados. Para esto se requiere mantener una geometría de diseño que permita un máximo beneficio económico y un mínimo factor de riesgo geomecánico. Cualquier variación de los ángulos de talud generara dos efectos directos:

Cambios en la estabilidad del talud y la explotación.

Cambios en los beneficios económicos de la explotación

Al aumentar el ángulo del talud, disminuye la cantidad de estéril a remover para la extracción de la misma cantidad de mineral. De esta forma se pueden extraer reservas que antes no eran posible, generando un aumento en los beneficios económicos de la explotación. El incremento del talud sólo es viable en el caso que las condiciones geomecánicas del macizo lo permitan.

Puede darse el caso contrario al aparecer una nueva información geomecánica que obligue bajar el ángulo del talud, lo que generará una mayor cantidad de estéril para remover y menor cantidad de mineral a extraer. [3]

2.4. Avance vertical

En el desarrollo de los procesos mineros es indispensable el avance vertical para poder remover el estéril necesario y extraer el mineral de interés, pues la relación estéril/mineral puede determinar la rentabilidad y valor de un proyecto minero. Es por esto que se incorpora esta variable en los modelos matemáticos de secuenciamiento de bloques. El método de explotación para este yacimiento polimetálico hipotético es el banqueo descendente, el cual utiliza secciones verticales troncocónicas que permitan un desfase entre bancos para contemplar las dimensiones mínimas que deben tener las plataformas donde operan las máquinas con un rendimiento óptimo y condiciones de seguridad adecuadas. [4]

En estos yacimientos es recomendable el método de explotación mencionado anteriormente para que pueda existir un frente libre que garantice la salida y proyección del material y que la extracción en cada uno de los niveles se realice en un banco con uno o varios tajos. [5]

El avance vertical se realiza desde 10 metros que es lo mínimo hasta 120 metros que es lo máximo por las dimensiones de los bloques. Es una variable geométrica que además tiene relación considerable con la geotecnia del macizo, ya que las condiciones de estabilidad del yacimiento determinarán en que momento es posible realizar el avance

En este caso hipotético se pudo analizar que entre más se avanzaba en el yacimiento el VPN disminuía, es decir, los primeros años del proyecto se obtendrían las mayores ganancias aunque esto contradice a la mayoría de casos que afirman que en los primeros años de una operación minera se obtienen las menores ganancias, en nuestro caso obedece a las características del yacimiento hipotético que contiene las

mayores cantidades de mineral en los primeros metros de explotación, lo que no significa que al finalizar el proyecto se obtendrán pérdidas, pues el VPN durante las simulaciones no fue negativo.

2.5 Fondo del tajo

La dimensión final del tajo representa la terminación de una explotación a cielo abierto y es el resultado de una serie de toma de decisiones las cuales afectan directamente todo el ciclo y las etapas del proyecto, desde el inicio hasta el abandono de la operación, es por esto por lo que se hace indispensable la adecuada identificación e interpretación de variables que permitan conseguir un tajo final óptimo, como:

Morfología del depósito mineral: Es el parámetro más importante para la definición de las dimensiones del tajo final, ya que determina la cantidad de mineral y su distribución.

Factores geométricos: Las condiciones geomecánicas del macizo permiten y restringen el incremento o disminución del ángulo final del tajo, el avance vertical, el ancho de los bancos, entre otros.

Variabilidad económica del proyecto: Parámetros como el constante cambio del precio de los minerales en el mercado, costo de extracción y el costo de los equipos influyen de manera directa en la dimensión de la explotación y, por tanto, en la dimensión final del tajo. [6]

Para la variación del fondo final del tajo se partió desde el valor de 20 hasta 200 metros, aumentando de a 10 metros, obteniendo al final un total de 20 procesos en los cuales el VNP y el total de Cu-Au extraídos presentan variaciones significativas. Es importante mencionar que el rango que el software brinda para la variación de este parámetro es de 10 a 900 metros, sin embargo, en estos dos valores el VNP obtenido es bastante bajo en comparación con los valores mencionados anteriormente.

3. Resultados, análisis y discusión

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en este artículo:

3.1. Ángulo de talud

Se tomaron 11 datos para el ángulo del tajo final, tomando como valor final un ángulo de 45° que es el máximo permitido por caracterización geomecánica del macizo y se compararon con el VPN acumulado obtenido y la extracción de cada proceso. La variación del ángulo global del talud, la respectiva variación de su VPN y de la extracción del mineral se muestran en la Tabla 1 y Fig. 2.

Observamos que variando la pendiente del talud al llegar al mayor ángulo permisible por el estudio geomecánico, el cual fue de 45°, se obtuvo un máximo beneficio económico, extrayendo más mineral de interés y removiendo menos cantidad de estéril. También se determinó que no siempre una mayor extracción de mineral representa un aumento del VPN, por el contrario, es posible que este caiga debido a los costos de operación que representa un proyecto a mayor escala.

Tabla 1.
Variación del ángulo global del talud con el VPN acumulado y la producción de cada proceso.

Variación del ángulo α del talud (°)	VPN acumulado (M US\$)	Metal Cu (kt)	Metal Au (kg)	Toneladas (kt)
35	1175,98	100,62	8359,86	25785,86
36	1190,94	101,28	8392,13	25978,24
37	1201,54	101,23	8397,01	25958,81
38	1213,13	100,56	8354,99	25745,36
39	1224,68	129,43	12544,96	25760,39
40	1230,02	100,06	8315,32	25566,74
41	1238,4	130,16	12602,69	25947,79
42	1226,66	131,02	12684,92	26154,57
43	1254,72	130,89	12672,04	26130,55
44	1258,68	131,61	12712,04	26302,52
45	1263,39	132	12742,22	26394,86

Fuente: Elaboración propia

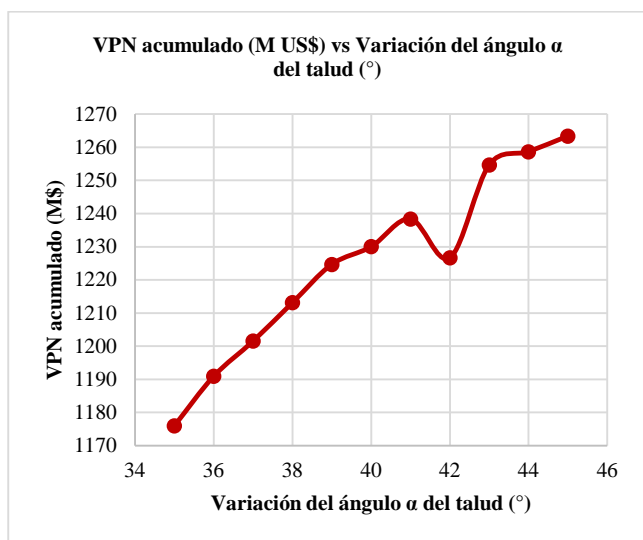


Figura 2. Variación del ángulo global del talud vs VPN acumulado.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.
Variación del avance vertical con el VPN acumulado y la extracción de mineral de cada proceso.

Avance Vertical (m)	VPN Acumulado (M US\$)	Cu (Kg)	Au (Kt)	Total (Kt)
10	1230,02	100,4	8315,32	25566,74
20	1229,96	100,07	8315,32	25566,75
30	1227,32	85,78	9701,21	25566,76
40	1222,03	100,07	8315,33	25566,76
50	1213,91	100,07	8315,33	25566,75
60	1205,97	100,07	8315,33	25566,75
70	1198,42	100,08	8315,34	25566,76
80	1197,45	100,06	8315,32	25566,76
90	1184,31	100,06	8315,33	25566,76
100	1177,47	100,06	8315,34	25566,75
110	1167,81	98,84	8203,98	24987

Fuente: Elaboración propia.

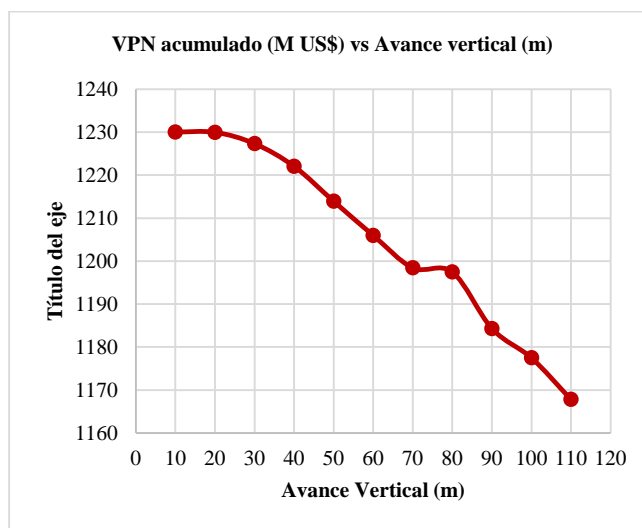


Figura 3. Variación del avance vertical vs VPN acumulado
Fuente: Elaboración propia.

3.2. Avance vertical

En las simulaciones realizadas para el avance vertical se realizaron 11 muestras, se avanzó en el yacimiento cada 10 metros. El dimensionamiento inicial de los bloques (15x15x10) determina el avance máximo de 120 metros en el yacimiento, esta es la razón por la que en las simulaciones presentadas no es visible el máximo avance porque para el software es una inconsistencia calcular un VPN después del avance vertical máximo en un yacimiento. En la Tabla 2 se aprecia la variación del avance vertical con el VPN acumulado y a extracción de cada proceso.

En la Fig. 3 se puede observar que a medida que avanzamos verticalmente en el yacimiento polimetálico disminuye el VPN, esto se debe a que en los primeros metros del yacimiento hipotético estudiado durante este artículo exista mayor concentración y cantidad de metales que a profundidad, es decir, la relación estéril/mineral en la parte superior del yacimiento es mayor para el mineral, y en el fondo esta relación es mayor para estéril. Es necesario tener en cuenta que dentro de los resultados el programa define como inconsistente el avance máximo de 120 metros determinado por las dimensiones iniciales de los bloques, debido a que el programa asume que es el final del yacimiento y no habría mayor avance a partir de allí. Es preciso anotar que a pesar de que el VPN disminuía constantemente, entre el avance de 65 a 85 metros tiende a aumentar, por lo que se presume que en este tramo podría existir una inconsistencia geológica que permite la existencia de mayor mineral que en los metros restantes. Es necesario hacer hincapié en que a pesar de que el VPN disminuye a medida que se avanza verticalmente, la extracción del mineral es rentable porque el VPN en los 120 metros es positivo.

3.3. Fondo de tajo

Las variaciones de las dimensiones de fondo de tajo se llevaron a cabo desde los 20 hasta los 200 metros, se pudo

Tabla 3. Comparativo de los datos arrojados por el Software SimSched DBS para las variaciones del fondo de tajo final.

Dimensión tajo (m)	VPN Acumulado (M\$)	Cantidad Extraída		
		Cu (kt)	Au (kt)	Total (kt)
20	1221,2	129,98	12594,45	25897,08
50	1230	128,66	12472,99	25566,74
60	1230,3	128,76	12484,2	25585,6
70	1222	131,3	12696,24	26255,1
130	1196,2	130,05	12600,8	25999,89
140	1183,8	132,64	12797,17	26657,36
150	1171,3	126,84	12327,89	25246,27
200	1002,4	115,48	11251,72	23154,95

Fuente: Elaboración propia.

verificar que el valor sugerido por el software (50 metros) no es el óptimo para este modelo geológico, sin embargo, se acerca bastante a los 60 metros, el cual refiere la mejor dimensión posible ya que presenta el VPN más alto. Otro valor a destacar es el de 140 metros ya que muestra la cantidad extraída de oro (kg) y cobre (kt) más alta, al igual que la mayor cantidad de material removido.

Aunque se realizaron 20 variaciones, con 20 valores diferentes, sólo se mencionan los resultados más relevantes del VPN y de la cantidad de mineral extraída. Estos resultados se muestran en la Tabla 3.

La Fig. 4 ilustra la dimensión final de Fondo de Tajo vs el VPN obtenido por cada valor.

Se puede observar que, utilizando el valor de 60 metros para la dimensión del tajo final se obtiene el valor más alto

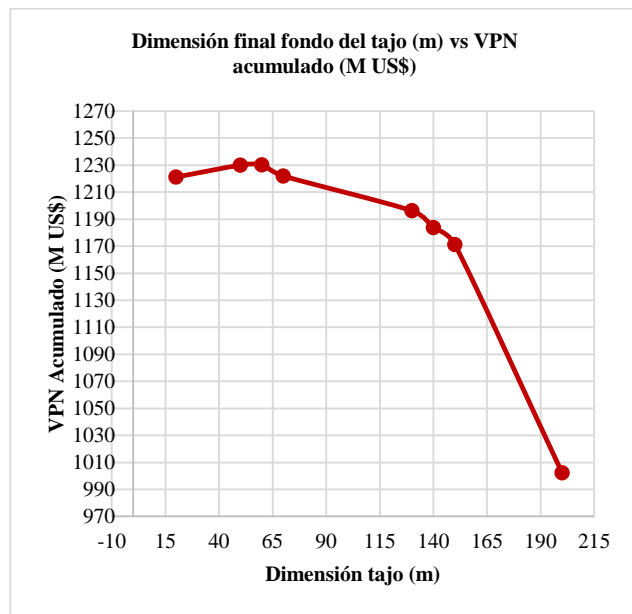


Figura 4. Gráfica del VPN vs Dimensión del Tajo final
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. VPN hallado empleando los valores óptimos del ángulo de talud, avance vertical y fondo de tajo.

Período	VPN (M US\$)	Acumulado VPN (M US\$)
1	597,8	597,8
2	403,3	1001
3	211,4	1212,5
4	52,9	1265,4

Fuente: Elaboración propia.

del VPN, \$1230,3 Millones de Dólares. Contrario a la creencia popular en el sector minero, donde una mayor cantidad de mineral extraída no representa necesariamente un mayor VPN para el proyecto minero, esto se puede comprobar si se comparan los valores de 60 metros (mayor VPN) vs 140 metros (mayor cantidad de mineral extraído), se obtuvo una diferencia bastante considerable, \$46.2 Millones de Dólares.

3.4. Resultados óptimos de cada parámetro

Después de seleccionar los valores óptimos de cada parámetro, se iteraron en el software con el fin de compararlos con los mejores valores del VPN acumulado hallados con cada parámetro individualmente. Los valores seleccionados fueron:

- a) Ángulo de talud: 45°
- b) Avance vertical: 10 metros
- c) Dimensión fondo de tajo: 60 metros

Los demás parámetros que se deben tener en cuenta para la corrida del algoritmo no fueron cambiados. En la Tabla 4 se puede observar una significativa variación en el VPN acumulado si se seleccionan estos parámetros. El software arroja 4 períodos de explotación, en los cuales no se explotan la misma cantidad de mineral, sin embargo, aumenta paulatinamente el VPN.

Se encontró que, mediante la utilización de los valores óptimos del ángulo de talud, el avance vertical y el fondo de tajo se puede conseguir un VPN acumulado con una diferencia significativa si se compara con los VPNs de cada variable individualmente, diferencias que llegan hasta los 33 Millones de dólares americanos. Por lo tanto, se puede recomendar este conjunto de valores como el que más ingresos netos le presenta a la explotación mineral de este yacimiento hipotético.

4. Conclusiones

- 1) La planificación minera entrega las bases para asegurar que un proyecto sea eficiente y confiable en todas sus operaciones con criterios de mínimo costo o máximo beneficio.
- 2) Variando la pendiente del talud, podemos obtener un máximo beneficio, pero no podemos olvidar que este es uno de los parámetros más significativos de la explotación minera a cielo abierto, influyendo en la

estabilidad del mismo y la seguridad de la operación, parte fundamental en la rentabilidad del negocio.

- 3) No siempre una mayor extracción de mineral representa un aumento del VPN, por el contrario, es posible que este caiga drásticamente debido a los costos de operación que representa un proyecto a mayor escala
- 4) El objetivo final debe ser ¿Cómo extraer estas reservas que son más costosas minimizando su costo y aumentando el VPN del proyecto?
- 5) Se logró evidenciar un aumento significativo en el VPN acumulado al integrar todos los valores óptimos, sin embargo, esto no garantiza siempre el mismo resultado y es posible que disminuya la rentabilidad de la operación.

Agradecimientos

El Grupo de Planeamiento Minero de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín (GIPLAMIN) hizo posible esta investigación gracias al apoyo del Patrimonio Autónomo Fondo Nacional del Financiamiento para la ciencia, la tecnología y la innovación, Francisco José de Caldas (COLCIENCIAS-Contrato de Financiamiento de Recuperación Contingente No. FP44842-133-2016), a la empresa Miningmath por el suministro de la licencia del software versión beta indispensable para el desarrollo del estudio y a la Facultad de Minas (Código QUIPU 201010016417).

Referencias

- [1] MiningMath Associates, MiningMath, 2010. [online]. [Acceded: April 24th of 2016]. Available at: http://static.wixstatic.com/media/d64031_08dd2c73ff884c479117c902eefcfcb3.jpg/v1/fill/w_209,h_216,al_c,q_80,usm_0.66,1.00_0.01/d64031_08dd2c73ff884c479117c902eefcfcb3.jpg
- [2] SimShed, Planificación minera intuitiva y operacional, [online]. 2010. [Acceded: April 24th of 2016]. Available at: www.simsched.com.
- [3] Domic-Mihovilovic, E.M., Sánchez, M. y Correa, H., Procesos de extracción de minerales, de Manual General de Minería y Metalurgia, Primera Edición ed., Chile, Portal Minero Ediciones, 2006, pp. 26-28.
- [4] Hustrulid, W. and Kuchta, M., Open pit mine planing & design, In: Open Pit Mine Planing & Design Fundamental, vol. 1, London, Taylor & Francis, 2006, pp. 303-326.
- [5] Peirano-Opazo, F.A., Definición del pit final capacitado bajo incertidumbre, CONICYT, Santiago de Chile, 2011.
- [6] Wellmer, F.-W., Dalheimer, M. and Wagner, M., Additional economic planning methods, In: Economic Evaluations in Exploration, 2nd Edition ed., Hannover Alemania, Springer, 2013, pp. 113-117.

D. Oliveros-Sepúlveda, es estudiante de pregrado de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se encuentra vinculado como estudiante auxiliar del grupo de planeamiento minero Giplamin de la misma institución desde julio de 2015. ORCID: 0000-0003-1879-0402

E. Hijuelos-Franco, es estudiante de pregrado de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se encuentra vinculada como estudiante auxiliar del grupo de planeamiento minero Giplamin de la misma institución desde febrero de 2016. ORCID: 0000-0001-9682-4538

J.M. Trespalacio-Torres, es estudiante de pregrado de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Se encuentra vinculada como estudiante auxiliar del grupo de planeamiento minero Giplamin de la misma institución desde febrero de 2016. ORCID: 0000-0002-0990-2890

G Franco-Sepúlveda, es Ing. de Minas y Metalurgia (1998), MSc. en Ciencias Económicas (2006) y PhD. en Ingeniería (2017), todos los títulos otorgados por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Colombia. Actualmente profesor auxiliar en dedicación exclusiva adscrito al Departamento de Materiales y Minerales de la Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín, Colombia y director del Grupo de Planeamiento Minero-GIPLAMIN, grupo C - Colciencias. ORCID: 0000-0003- 4579-8389



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Ingeniería
Geológica e Ingeniería de Minas y Metalurgia

Oferta de Posgrados

Especialización en Materiales y Procesos
Maestría en Ingeniería - Materiales y Procesos
Maestría en Ingeniería - Recursos Minerales
Doctorado en Ingeniería - Ciencia y Tecnología de
Materiales

Mayor información:

E-mail: acgeomina_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 53 68