

Automatización del control del cálculo de extracciones en la mina de la empresa niquelera Ernesto Che Guevara

Arístides Alejandro Legrá Lobaina

Resumen

En el artículo se muestran los elementos fundamentales de un algoritmo cuyo objetivo es establecer el contenido y el orden de los procedimientos necesarios para realizar el control del cálculo de extracciones en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara que explota, a cielo abierto, yacimientos lateríticos ferroniquelíferos en la región de Moa, Cuba. Asimismo se presenta el diseño de los diálogos informáticos que han automatizado el algoritmo en la aplicación informática Tierra.

Palabras clave

Algoritmo, automatización, cálculo de extracciones, minería de lateritas, planificación minera.

Implementation of an automated mining calculation system in the mines of Ernesto Che Guevara plant site

Abstract

This work presents the fundamental elements of an algorithm with the objective of establishing the content and order of the procedures that are required to control the calculation of ore mining in the mines of the Ernesto Che Guevara plan site; which exploits opencast laterite ore bodies in the region of Moa, Cuba. It also provides a design of computer dialogues that have the algorithm automated in the computer application Tierra.

Key words

Algorithm, automation, mining calculation, laterite mining, mining plan.

INTRODUCCIÓN

El control es uno de los tres conceptos fundamentales en cualquier sistema de explotación de un yacimiento mineral. Después de modelar las reservas de minerales (cuantificarlas, geometrizarlas y evaluarlas técnica y económicamente para las variantes de explotación consideradas), y luego de definir y ejecutar la planificación de la minería, corresponde al control el papel de evaluar la calidad del diseño y desarrollo de las tareas anteriores, aportar nuevos datos al sistema de información de la mina y corregir globalmente todo el sistema.

Es evidente que modelar, planificar y controlar pueden ser integrados en un Sistema de Control Minero (SCM) que potencia su eficiencia al ser automatizado (Legrá Lobaina *et al.* 2003). La automatización de un SCM tiene tres etapas cuyas caracterizaciones marcan los niveles de complejidad tecnológica y científica del proceso:

1. Digitalización de la información, desarrollo de bases de datos eficientes, introducción del hardware necesario en un sistema de redes informáticas, desarrollo de software de manejo de datos y de consulta técnica de la información. Superación del personal.
2. Desarrollo del software especializado para modelar, planificar y controlar las actividades geológicas y mineras. Se define el manejo dinámico de la información y el papel del control como elemento principal en la toma de decisiones en el sistema.
3. Introducción de hardware para la captación de información; uso de GIS (Sistemas de Información Geográficas) y de GPS (Sistemas de Posicionamiento Global), de sistemas de comunicación inalámbricos y de sensores. Introducción de software con sistemas expertos y uso de la inteligencia artificial como auxiliar permanente en la toma de decisiones.

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECECG) transita por la segunda de estas etapas y se inician los primeros pasos para la tercera. Una de las tareas del desarrollo del software especializado para modelar, planificar y controlar las actividades geológicas y mineras en las ECECG ha sido definir y establecer el desarrollo informático del algoritmo para el control de la minería, lo cual constituyó el objetivo del presente trabajo.

CARACTERIZACIÓN DEL CONTROL DE LA MINERÍA EN LA ECECG

La ECECG explota yacimientos de la región de Moa al noreste de la provincia de Holguín, Cuba. La información espacial de estos yacimientos está dada oficialmente en el sistema de coordenadas nacionales SCN, definido por el sistema de proyección Cuba Sur (Raíces 1980) y descrito por las coordenadas cartesianas oeste-este (OE), sur-norte (SN) y la cota (CT). En la práctica, en la empresa es utilizado otro sistema de coordenadas locales SCL, definido por una traslación del centro del SCN, que en ocasiones se describe por coordenadas cartesianas: OE, SN y CT o por coordenadas cilíndricas: ángulo, distancia, cotas, referidas a un punto del SCL.

Otro aspecto importante que debe tomarse en consideración es la división en bloques de estos yacimientos. Los bloques son regiones cuadradas de 300 m de lado que no tienen ninguna relación con las características geológicas o tecnológicas del yacimiento. La Figura 1 ilustra la conformación de los bloques para el yacimiento Punta Gorda.

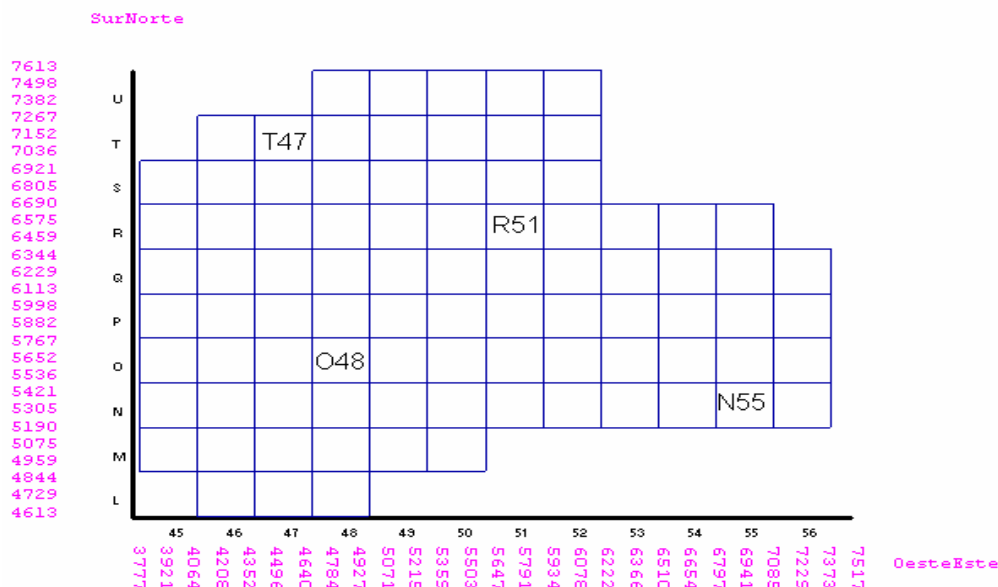


Figura 1. Sistema de coordenadas locales y sistema de bloques en el yacimiento Punta Gorda.

En cada bloque se perforaron 81 pozos de la red de exploración, situados cada uno en el centro de un panel cuadrado de lado igual a 33,3333 m. Los pozos tienen una notación numérica especial dada por la posición que ocupan en el bloque. Los de la fila que está más al norte se nombran, de oeste a este: 01, 02,..., 09; los de la segunda fila: 11, 12,..., 19, y así sucesivamente hasta los de la última fila: 81, 82,..., 89. En lo adelante, cuando se hable de un pozo, tal como se hace en la mina de la ECECG, se estará haciendo referencia al panel y no a la perforación.

Los datos originales del muestreo de la red de exploración están referidos a los nombres de los bloques y pozos. Por ejemplo, se declara que en la cota 53.2 del pozo 23 en el bloque Q48 se tiene una concentración de níquel de 1,12 %. Los modelos de recursos y reservas se han calculado históricamente -primero mediante el Método de Zona Influencia y actualmente mediante Métodos Geoestadísticos que permiten modelar 9 columnas puntuales o de paneles tridimensionales para cada pozo (Legrá-Lobaina 1999)- sobre la notación Bloque-Pozo.

Hasta el presente, el sistema de explotación utilizado en la mina de la ECECG se ha basado fundamentalmente en el uso de grandes excavadoras con cubo de arrastre, en una minería definida como "de potencia completa". Las características generales de esta minería desde el punto de vista del equipamiento que se utiliza han sido:

1. Realizar el desbroce de las zonas que serán minadas, con el objetivo de "guardar" la capa vegetal para utilizarla en la posterior restauración del terreno. Esto se ejecuta mediante bulldozer.
2. Descombreo. Consiste en eliminar el material cuyas características no lo califican para ser enviados al proceso metalúrgico. Es realizada por empujadores – mototraíllas, por pequeñas retroexcavadoras y, ocasionalmente, por las excavadoras de cubo de arrastre. El escombro mineral se transporta en camiones o en el cubo de las excavadoras y se almacena temporalmente en otras zonas del yacimiento.

3. Extracción del mineral. Generalmente se realiza de una vez en cada pozo, de manera que después de pasar un frente de minería por una zona, la misma queda agotada (o sea, se mina la "potencia completa del pozo"). En ocasiones, cuando la potencia del mineral en una zona es mayor que el alcance del brazo de la excavadora, entonces la minería se realiza en dos o tres bancos. Un caso especial se tiene con la minería en los fondos, es decir, en las zonas de contacto del mineral con el escombros que está debajo de este o en los casos en que se presenten intercalaciones de escombros dentro del mineral; en estos casos se acude al uso de pequeñas retroexcavadoras que permiten separar eficientemente el mineral del escombros.
4. Las tareas de restauración se realizan con diferente equipamiento y tiene como objetivo principal devolver al terreno las características medioambientales positivas, aunque no tenga la forma original.

Desde el primer semestre del año 2003 se comenzó a experimentar en algunas zonas del yacimiento con un sistema de Explotación por Bancos, que sustituye el Modelo de Reservas por Pozos por un Modelo de Reservas por Bancos donde la planificación tiene otras características.

Desde el punto de vista del control, la situación no ha cambiado excepto en que, quizás, deba actualizarse en el sistema de planificación por bancos el estado (virgen, en minería, minado) de cada banco. Las principales tareas relacionadas con el control de la minería en la ECECG son las siguientes:

1. Desarrollo sobre una red de explotación de un conjunto de muestreos geoquímicos. Esta red de explotación se controla sobre el SCL.
2. Control topográfico permanente sobre el SCL.
3. Control de los recursos y reservas extraídas y disponibles en el yacimiento. Se realiza según la notación Bloque–Pozo.

En la práctica minera de la ECECG existe una marcada identificación con la notación Bloque–Pozo y con el SCL, lo cual no puede obviarse al diseñar e implementar el algoritmo para el control de la minería.

Es una tarea compleja el control permanente de la topografía de un yacimiento como Punta Gorda, ya que ocupa un área de aproximadamente 780 ha y se explota en varios frentes permanentes de minería; además se construyen caminos y otras obras de ingeniería, sin olvidar que se realizan tareas de descombreo en las futuras zonas de minería y de restauración en las zonas agotadas. Este control se realiza en la actualidad teniendo en cuenta un modelo digital de la topografía MDT en cada bloque del yacimiento, donde se registra la topografía en una red cuadrada de 4,04166m de lado en el sistema de coordenadas locales, es decir, que para un bloque cuadrado de lado igual a 300 m se tienen 5 329 puntos de control.

Es evidente que para dos bloques contiguos se tendrá una redundancia de la información (73 puntos), sin embargo esto ha sido admitido con el objetivo de mantener los históricos controles completos e independientes de la topografía en cada bloque (llamado plancheta del bloque) y además porque el manejo matemático e informático de estas planchetas digitales se realiza fácilmente y se refleja de manera adecuada en controles visuales por perfiles verticales.

En la ECECG, periódicamente se obtienen levantamientos topográficos según las normas establecidas por el Comité Estatal de Normalización (1982a y 1982b) y cuyas instrucciones se establecen por el Ministerio de la Construcción (1987). Los dos objetivos principales de estas normas e instrucciones son:

- A. Actualizar la topografía del terreno.
- B. Contabilizar el material extraído en la zona medida.

Estos levantamientos topográficos pueden estar definidos en el SCN o en el SCL (coordenadas cartesianas o cilíndricas) por lo que es necesario reducir los levantamientos a un solo sistema de coordenadas, para ello se ha seleccionado el SCL como sistema único.

A partir de la topografía actual de una zona y comparando con la topografía anterior de la misma (dadas por los MDT de los bloques), se determina fácilmente el volumen de material extraído, pero se hace muy complejo caracterizar -para el proceso metalúrgico- los valores de la concentración de los elementos útiles y nocivos, así como la masa del material extraído, ya que los modelos de las variables geoquímicas y de la masa volumétrica están referidas a la notación Bloque-Pozo. Esto se resuelve buscando cuáles pozos de cada bloque tienen sus áreas interceptadas con la zona que se analiza; cuando eso sucede se toman de los Modelos de Recursos y Reservas del Pozo los datos correspondientes.

ALGORITMO PARA EL CONTROL DE LA MINERÍA EN LA ECECG

Los pasos que se proponen en el presente trabajo (y que ya se han establecidos en la práctica de la ECECG) para realizar el control de la minería son:

1. Importar y editar los datos del levantamiento topográfico el cual puede estar dado en el SCN o en el SCL (en coordenadas cartesianas o en coordenadas cilíndricas).
2. Si es necesario, transformar los datos del levantamiento topográfico al SCL a coordenadas cartesianas.
3. Determinar la frontera de la zona donde se calculará a la que llamaremos YUH.
4. Determinar los bloques cuyas áreas se interceptan con el área del levantamiento topográfico.
5. Establecer para cada bloque I involucrado:
 - a. La frontera de la zona del bloque que se actualizará a la que llamaremos $FP2_i$.
 - b. Un modelo denso $MDAT_i$ de la anterior topografía del bloque dentro de la frontera YUH.
 - c. Un modelo denso $MDNT_i$ de la nueva topografía del bloque dentro de la frontera YUH.
 - d. Guardar con nuevo nombre una copia del MDT_i anterior de cada bloque I.

- e. Crear dentro de la frontera $FP2_i$ y a partir del $MDNT_i$ un nuevo MDT_i del bloque I y guardarlo.

Los modelos $MDAT_i$ y $MDNT_i$ se obtienen por el método de Estimación Lineal por Triangulación usando Triangulaciones de Delaunay (Manzanilla 1993; Golden Software Inc 1999).

6. Para cada bloque I involucrado y para cada Pozo J de este bloque:
 - a. Determinar la intersección del área del Pozo J con el área delimitada por la frontera YUH. Si esta intersección es no vacía, continuar con el paso b y en caso contrario continuar con el próximo pozo del bloque.
 - b. Calcular para el pozo J del bloque I el material extraído.
 - c. Guardar los resultados obtenidos en el paso anterior.
7. Mostrar información local y global sobre los resultados obtenidos.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques del algoritmo descrito donde puede notarse que el número de iteraciones está dado por el total de pozos de cada bloque que pertenece a la región del levantamiento topográfico. En el caso de la ECECG, el máximo de iteraciones es de 81 pozos por cada uno de los 4 bloques que pudieran ser interceptados por un levantamiento topográfico, o sea, 324 iteraciones.

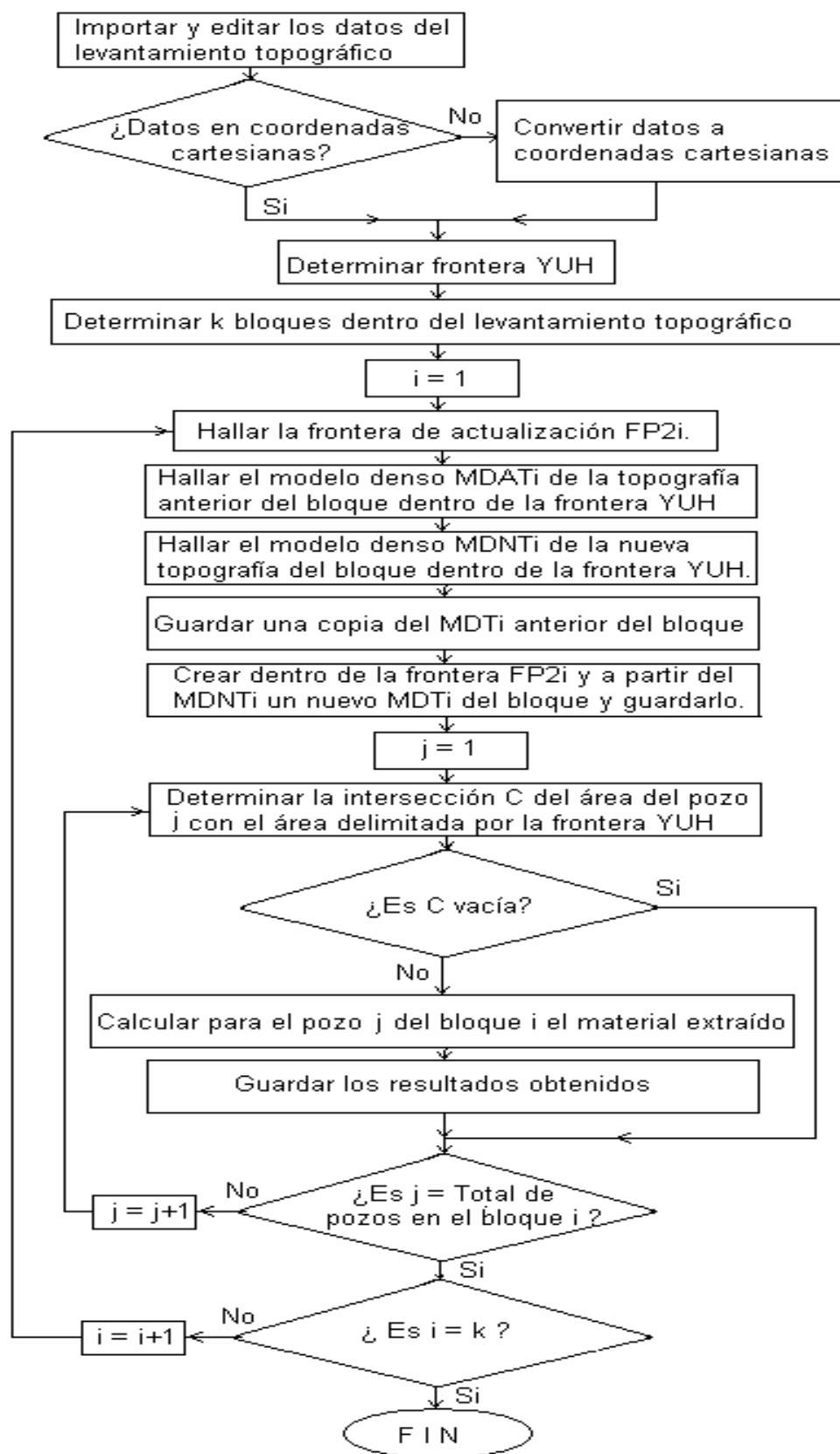


Figura 2. Diagrama de bloques del algoritmo para el control de la minería.

IMPLEMENTACION INFORMATICA

La implementación del algoritmo descrito se ha desarrollado mediante el software Borland Delphi Enterprise de Borland Software Corporation Versión 7.0 del año 2002, dentro de la aplicación informática Tierra © (Legrá–Lobaina 2006), la cual integra todo el trabajo con los modelos, planificación y control de la minería en la mina de la ECECG y es compatible con cualquier versión igual o superior del sistema operativo Windows 2000, precisando al menos 512 megabytes de memoria RAM y 30 gigabytes de memoria en disco. La interfaz gráfica principal para el control de la minería en la ECECG se muestra en la Figura 3.

Los archivos para el manejo digital de los levantamientos topográficos tienen la extensión CDR y como es usual en esta aplicación tienen el formato Texto Separado por Tabuladores. La estructura de un archivo CDR está definida por el número de columnas que posee y puede ser una de las siguientes:

- a. Con cuatro columnas: O-E, S-N, Cota y 0,1 donde a la última columna se le conoce como la columna del orden ya que en ella se configuran los puntos de la frontera YUH de cálculo (los que tienen celdas no vacíos o con valores diferentes de 0) y el orden de los puntos.
- b. Con doce columnas: ángulo, distancia, desnivel, orden, OE del PI, SN del PI, Cota del PI, OE del PR, SN del PR, altura del instrumento, factor de lectura y altura de la señal. En este caso PI es el punto donde está situado el instrumento de medición y PR es el punto de referencia.

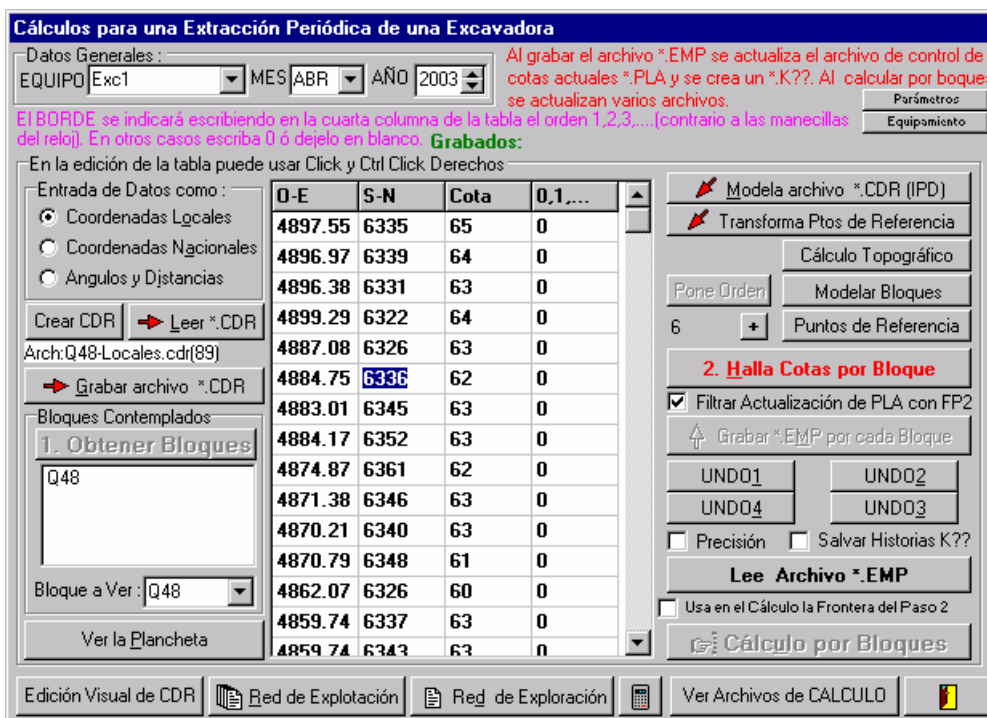


Figura 3. Ventana para actualizar la topografía y realizar el cálculo de extracciones.

Los pasos para desarrollar el control deberán ser los siguientes:

1. Defina el equipo de extracción, el mes y el año en el panel superior **DATOS GENERALES**.
2. Si no tiene el archivo CDR, puede crearlo usando el botón **CREAR CDR**: Diga el nombre del nuevo archivo y grábelo usando el botón **GRABAR ARCHIVO CDR** (si existe el archivo, pregunta si lo sustituye en el disco) y luego consulte si el nuevo archivo será colocado en la tabla que está en pantalla, lo cual equivale a "blanquear" la tabla con el objetivo de pasar a la edición visual de la misma.
3. Si existe y conoce el archivo CDR que usará puede cargarlo usando el botón **LEER *.CDR**. A continuación deberá seleccionar el tipo de coordenadas de sus datos: Locales, Nacionales o Angulo – Distancia, mediante el control **ENTRADA DE DATOS COMO**.
4. Las opciones que se brindan para editar son las siguientes:
 - Editar algún dato particular escribiendo directamente en la tabla.
 - Usando el botón **PONE ORDEN**. Se presenta un diálogo que permite visualmente:

- Eliminar algún punto de los datos.
 - Crear una nueva frontera para la columna del orden de la frontera YUH.
 - Ver al mismo tiempo varios archivos BLN, FTR y TXT junto a los datos del archivo CDR.
 - Incorporar partes de un BLN o archivos TXT y FTR completos a los datos del CDR.
 - Obtener un gráfico con la aplicación Surfer © (Golden Software Inc, 1999) sobre la base del gráfico actual de la aplicación Tierra ©.
 - Editar con la aplicación Surfer © (Golden Software Inc, 1999) archivos BLN, FTR y TXT.
 - Usando el botón cuya etiqueta es + mediante el cual se puede leer desde disco e incorporar otro archivo compatible a la tabla en pantalla, escribiendo los nuevos datos a partir de la fila donde está el cursor.
 - Mediante el botón **EDICIÓN VISUAL DEL CDR** situado en la parte inferior de la ventana. En este caso se presenta un diálogo que permite:
 - Obtener los bloques involucrados en el cálculo (hasta 4).
 - Guardar en un archivo de extensión PLT la nueva topografía que se creará para un bloque seleccionado, entre los bloques involucrados, según los datos del archivo grabado CDR cuyo nombre está en el editor de texto de etiqueta **ARCHIVO CDR**.
 - Edición visual de los datos. Puede agregar y quitar puntos.
 - Salvar los cambios realizados en esta edición visual en el archivo grabado CDR. Para que los cambios pasen a la tabla y que por tanto sean utilizados en el cálculo, deberá cargarse nuevamente el archivo CDR. Si graba el archivo que tenía originalmente en la tabla entonces se eliminan los cambios realizados visualmente.
5. Aceptados como correctos los datos que están en la tabla, ahora puede usar el botón **1.OBTENER BLOQUES**. Aquí se determina la frontera YUH según la columna Orden de la tabla; si no es posible hallarla a partir de esta columna entonces se asume como YUH a la frontera convexa natural de los datos.
6. Configurar el control **FILTRAR ACTUALIZACIÓN DEL**

- PLA CON FP2.** Si está activo solo serán actualizados en la plancheta aquellos puntos que, además de estar a una distancia no mayor de la Distancia Máxima Topográfica que mencionaremos más adelante, también estén dentro de esta frontera FP2.
7. A continuación se usará el botón **2. HALLAR COTAS POR BLOQUES**. En este caso para cada bloque se halla la frontera particular natural de sus datos. En este momento se presenta para cada bloque un gráfico con edición visual cuyo objetivo es definir la frontera FP2 la cual se puede usar como ya explicamos en la definición de la zona de actualización de la plancheta y también en los cálculos si se activa el control **USA EN EL CÁLCULO LA FRONTERA DEL PASO 2**. Para finalizar la edición de la frontera FP2 de cada bloque debe grabarse la misma o cargarse si ya se ha grabado. Al final de este paso, se determinan las redes densas (aproximadamente de 1m x 1m) para cada bloque.
 8. En el próximo botón a usar **GRABAR *.EMP POR CADA BLOQUE**, se pide autorización para grabar (o sustituir si ya existen) los archivos de extensión EMP cuyos nombres se construyen de la forma **BLOQUE-EQUIPO-MES-AÑO.EMP**. Antes de grabar el nuevo archivo PLA de cada bloque, se pide configurar el valor de la Distancia Mínima Topográfica y solo se actualizarán los puntos del MDT correspondiente cuya separación al punto más cercano del levantamiento topográfico, no sea mayor que dicha Distancia. Sin consultar (a menos que existan y vayan a ser sustituidos) se guarda para cada bloque una copia de la plancheta anterior del bloque con el nombre compuesto **BLOQUEEQUI-POMESAÑO.PLA**. Si además se configura convenientemente el control **SALVAR HISTORIA K??**, es grabada una copia de la plancheta anterior con el nombre del bloque y la extensión K??, donde ?? son dos dígitos que indican un orden en los archivos.
 9. Si es necesario regresar a los MDT anteriores al uso del botón **GRABAR *.EMP POR CADA BLOQUE** entonces puede deshacerlo para cada bloque usando los botones correspondientes **UNDO1, UNDO2, UNDO3** y **UNDO4**.
 10. Cuando ya se han usado los botones: **2. HALLAR COTAS POR BLOQUES** y **GRABAR *.EMP POR CADA BLOQUE** entonces se puede pasar al cálculo. En ocasiones sucede que usted modela la

topografía pero no quiere calcular en esa sesión de trabajo entonces, en otra sesión de trabajo, puede, después de usar el botón **1.OBTENER BLOQUES**, pasar al botón **LEE ARCHIVO *.EMP** y después procede a realizar el cálculo.


Es conveniente comentar que en el diálogo descrito se presentan en la parte superior derecha y en la parte inferior otros controles que permiten realizar tareas auxiliares relacionadas principalmente con la visualización gráfica de información.

11. Antes de calcular deberá configurar el control **PRECISIÓN** que define si se usarán los datos originales del levantamiento topográfico junto a las redes de topografía MDNT y MDAT para realizar los cálculos volumétricos en cada pozo. Usando el botón **CÁLCULO POR BLOQUES** se pide la selección del modelo de masas volumétricas y luego comienza una revisión para determinar que pozos de cada bloque están parcialmente o totalmente dentro del área de cálculo que está determinada por la frontera YUH y opcionalmente (vea el control **USA EN EL CÁLCULO LA FRONTERA DEL PASO 2**) dentro de la frontera FP2.
12. Cada vez que se encuentra un pozo para calcular, es presentado como en la Figura 4.

Usar Red de Exploración																																																																																																					
BLOQUE	Q48	POZO	23																																																																																																		
MASAS Volumétricas:	1.52/1.66/1.26																																																																																																				
De las mediciones (Densas):																																																																																																					
Cota Sup Max :	58.3643825451																																																																																																				
Cota Inf Min :	46.7407648202																																																																																																				
Area Superior :	307.570909091																																																																																																				
Area Inferior :	152.574545455																																																																																																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Usar Red de Explotación																																																																																																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Estimación Automática																																																																																																				
Datos para el cálculo :	MSTT																																																																																																				
Editar Datos del Pozo	MDFT																																																																																																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Usar Datos Originales																																																																																																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Indep.																																																																																																				
Parámetros para las Menas	Excluye																																																																																																				
Información del Bloque	G																																																																																																				
Calcular (G)	C																																																																																																				
<input type="checkbox"/>	Gráfico																																																																																																				
<input checked="" type="checkbox"/>	Nueva Topografía																																																																																																				
Del pozo se usaron los datos:	FP																																																																																																				
Cota Max :	47.028	Cota Min :	10.345	FB																																																																																																	
Vol. Depósito:	67.3567700233																																																																																																				
Control de Pozos	DESTINO																																																																																																				
Acumula MES	CyV	E																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>LB</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>201.255967</td> <td>219.369004</td> <td>1.2335136</td> <td>45.4110579</td> <td>0.12465854</td> </tr> <tr> <th>SB</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0.11935763</td> <td>0.10861545</td> <td>1.11</td> <td>34.15</td> <td>0.137</td> </tr> <tr> <th>LB+SB</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>201.375325</td> <td>219.477620</td> <td>1.2334525</td> <td>45.4054851</td> <td>0.12466464</td> </tr> <tr> <th>SD</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <th>ESCOMBRO SUPERIOR</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>28.1738281</td> <td>35.3198784</td> <td>0.71407505</td> <td>38.3406154</td> <td>0.03965753</td> </tr> <tr> <th>ESCOMBRO INTERMEDIO Y FINAL</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>17.0898437</td> <td>21.5332031</td> <td>0.85011429</td> <td>46.4088571</td> <td>0.08236857</td> </tr> <tr> <th>MINERAL POR ENCIMA DEL TECHO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1.52180989</td> <td>1.65877278</td> <td>1.1300357</td> <td>46.249287</td> <td>0.06194295</td> </tr> <tr> <th>MINERAL POR DEBAJO DEL FONDO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)</th> <th>Volumen :</th> <th>Tonelaje</th> <th>% Ni :</th> <th>% Fe :</th> <th>% Co :</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0.1953125</td> <td>0.21289062</td> <td>1.235</td> <td>44.4</td> <td>0.22</td> </tr> </tbody> </table>						LB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		201.255967	219.369004	1.2335136	45.4110579	0.12465854	SB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		0.11935763	0.10861545	1.11	34.15	0.137	LB+SB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		201.375325	219.477620	1.2334525	45.4054851	0.12466464	SD	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		0	0	0	0	0	ESCOMBRO SUPERIOR	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		28.1738281	35.3198784	0.71407505	38.3406154	0.03965753	ESCOMBRO INTERMEDIO Y FINAL	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		17.0898437	21.5332031	0.85011429	46.4088571	0.08236857	MINERAL POR ENCIMA DEL TECHO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		1.52180989	1.65877278	1.1300357	46.249287	0.06194295	MINERAL POR DEBAJO DEL FONDO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :		0.1953125	0.21289062	1.235	44.4	0.22
LB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	201.255967	219.369004	1.2335136	45.4110579	0.12465854																																																																																																
SB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	0.11935763	0.10861545	1.11	34.15	0.137																																																																																																
LB+SB	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	201.375325	219.477620	1.2334525	45.4054851	0.12466464																																																																																																
SD	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	0	0	0	0	0																																																																																																
ESCOMBRO SUPERIOR	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	28.1738281	35.3198784	0.71407505	38.3406154	0.03965753																																																																																																
ESCOMBRO INTERMEDIO Y FINAL	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	17.0898437	21.5332031	0.85011429	46.4088571	0.08236857																																																																																																
MINERAL POR ENCIMA DEL TECHO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	1.52180989	1.65877278	1.1300357	46.249287	0.06194295																																																																																																
MINERAL POR DEBAJO DEL FONDO TEORICO DEL MINERAL (Según red de 33.3)	Volumen :	Tonelaje	% Ni :	% Fe :	% Co :																																																																																																
	0.1953125	0.21289062	1.235	44.4	0.22																																																																																																

Figura 4. Ventana para el cálculo de las extracciones en un pozo.

Primero se definen los siguientes elementos:

- a. Revisión (opcional) de las masas volumétricas. Use Doble Clic sobre el editor de texto con etiqueta **MASAS Volumétricas**.
 - b. Uso de los modelos de recursos definidos sobre la Red de Exploración o Red de Explotación mediante el control **USAR RED DE EXPLOTACIÓN**.
 - c. En caso de que se tengan cotas fuera de los límites de los pozos conocidos: estimar o no estimar automáticamente los datos que faltan mediante el control **ESTIMACION AUTOMATICA**. Si no se define estimar automáticamente las cotas entonces mediante el botón **EDITAR DATOS DEL POZO** usted puede escribir los valores de cota y geoquímicos del pozo. Esto sucede también si se han realizado muestreos complementarios y se desea cambiar algunos de los datos originales. Para que los datos editados se usen debe configurarse convenientemente el control **USAR DATOS ORIGINALES**.
 - d. Configurar el control **MSTT MDFT INDEPENDIENTES**. Si se activa este control, entonces los valores calculados de minería sobre el techo teórico y de minería debajo del fondo teórico no se suman (o sea, no se incluyen) en las categorías LB, SB y LB+SB.
 - e. Puede usarse el botón **EXCLUYE** para excluir del cálculo hasta 3 segmentos de cada pozo de exploración o de explotación. Esto es útil cuando se conocen intercalaciones de escombros.
13. Después de calcular mediante el botón **CALCULAR(G)** en un pozo usted puede hacer una de las siguientes tareas:
- a. Editar en la pantalla los valores que se muestran y si quiere pasar los valores visuales actuales a los registros internos, use el botón  .
 - b. Ver el gráfico de la vieja topografía o de la nueva topografía del pozo. Active el control **GRAFICO** o use clic derecho en el botón **CALCULAR (G)**. Configure también el control **NUEVA TOPOGRAFIA**. Un gráfico de este tipo es el que se muestra en la Figura 5.
 - c. Si desea finalizar los cálculos de los pozos en el bloque actual use el botón **FP** y si desea terminar todos los cálculos de esta

- sesión de trabajo use el botón **FB**.
- d. Usar el botón **E** para ver una tabla con los resultados en pantalla.
 - e. Usar el botón **CyV** para actualizar los archivos relacionados con la planificación de la minería.
 - f. Usar el botón **CONTROL DE POZOS** que permite llevar los resultados a las planillas del control de extracción de los pozos.
 - g. Usar el botón **ACUMULA MES** que permite ir guardando de manera acumulativa los resultados de varios cálculos y luego llevarlo a las planillas de extracción de los pozos mediante el botón **CONTROL DE POZOS**. Usar el botón **DESTINO** que da facilidades para controlar hacia donde se envía lo que se extrae.
14. Cuando se termina la sesión de cálculo se muestra un breve resumen textual y se regresa al diálogo inicial del cálculo de extracciones. Ahora puede usar el menú vinculado al botón **VER ARCHIVOS DE CÁLCULO** que proporciona las siguientes opciones:
- a. Archivos del tipo **InformeCalculo*.TXT**. Muestran los resultados del cálculo por bloques vinculados durante un período de tiempo a una excavadora y el resumen de la excavadora.
 - b. Archivos del tipo **T-Bloque.txt**. Contienen la información detallada por pozos, bloques y excavadora y los totales para una sesión de trabajo.
 - c. Archivos del tipo **Bloque*.TXT**. Se visualiza cualquier archivo auxiliar relacionado con el cálculo en un bloque.

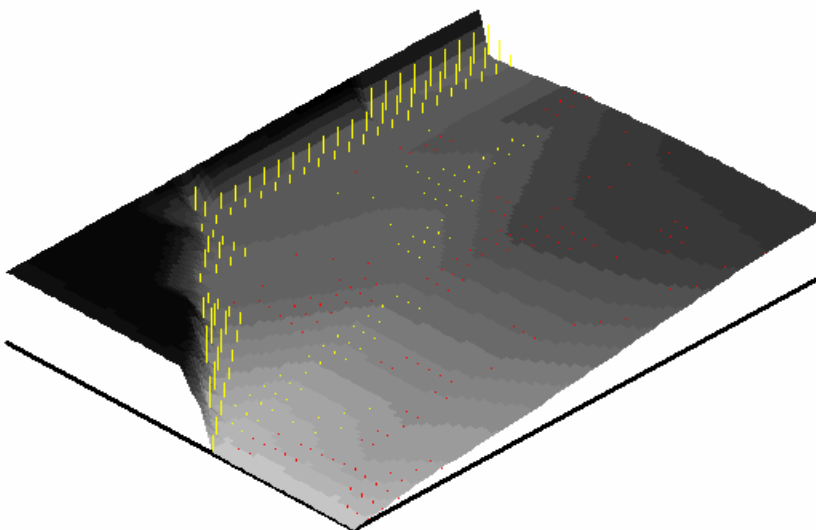


Figura 5. Gráfico de la nueva topografía en el área de un pozo donde también se indican las proyecciones de la topografía anterior.

CONCLUSIONES

El concepto del algoritmo y de la implementación informática propuestos para el control de la minería en la ECECG se caracterizan por cubrir las necesidades actuales de control de los MDT y de la cantidad y la calidad del material minado, pero además constituyen sistemas abiertos que permiten sus desarrollos en las dos direcciones previstas para el futuro inmediato: el Sistema de Explotación por Bancos y la implementación de Sistemas de Posicionamiento Global. Este algoritmo, implementado en la ECECG, puede ser usado en cualquier empresa con un sistema de explotación minero semejante y según la experiencia del autor cubre todas las necesidades para este tipo de control.

REFERENCIAS

- COMITÉ ESTATAL DE NORMALIZACIÓN, REPÚBLICA DE CUBA, 1982a: Norma Cubana 57-11 Geodesia y Cartografía: Planos Topográficos a las escalas 1:2000, 1:1000 y 1:500. La Habana, 10 p.
- COMITÉ ESTATAL DE NORMALIZACIÓN, REPÚBLICA DE CUBA, 1982b: Norma Cubana 57-32 Geodesia y Cartografía: Red Planimétrica Nacional, Requisitos Generales. La Habana, 6 p.
- GOLDEN SOFTWARE, INC, 2006: SURFER, Surface Mapping System, Version 8.06. USA. Aplicación Informática.
- LEGRÁ-LOBAINA, A. A. 2006: Software Tierra Versión 2.5.16. Departamento de Matemáticas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Aplicación Informática.
- LEGRÁ-LOBAINA, A. A., 1999: Metodología para el pronóstico, planificación y control integral de la minería en yacimientos lateríticos. Departamento de Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa [Tesis Doctoral] 187 p.
- LEGRÁ-LOBAINA, A. A.; LORES-VIDAL, M.; POLANCO ALMANZA, R. G. & LABORDE-CHACÓN, J. M. 2003: La calidad de la información en el proceso de automatización de la minería del níquel. *Minería y Geología*, XIX (3-4) :43-50.
- MANZANILLA, R. 1993: Generación automática de triangulaciones de Delaunay". En: Proceedings del I Seminario Venezolano de Métodos Numéricos en Ingeniería, Caracas, marzo 1993. p. 77-91.
- MINISTERIO DE LA CONSTRUCCIÓN. 1987: *Instrucciones Técnicas para le-*

vantamientos topográficos Escalas 1:2000, 1:1000 y 1:500. Editorial del Centro de Información de la Construcción, La Habana. 76 p.

RAÍCES, O. 1980: *La teoría de la proyección cónica conforme de Lambert y su aplicación en Cuba.* Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1980. 169 p.

Arístides Alejandro Legrá Lobaina

Doctor en Ciencias Técnicas.

Profesor Auxiliar. Departamento de Matemáticas.

Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.

alegra@ismm.edu.cu