

INFORMATIZACION DE LA MINERIA EN LA INDUSTRIA CUBANA DEL NIQUEL

COMPUTERIZING OF THE MINING IN THE CUBAN NICKEL INDUSTRY

ARISTIDES ALEJANDRO LEGRA LOBAINA

RAMON GILBERTO POLANCO ALMANZA

JOEL BATISTA LEYVA

e-mail: alegra@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico

Empresa mixta Pedro Sotto Alba - Moanickel S.A.

Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: La informatización de un proceso en una empresa es actualmente uno de los problemas más complejos de enunciar y resolver porque presupone integrar en un sistema único y computarizado todas las actividades del proceso. Este trabajo presenta los elementos considerados en la informatización de la Unidad Básica Minera de la Empresa Ernesto Che Guevara de Moa, a partir de:

- El estudio preliminar de la situación de la explotación minera en esta empresa.
- Los conceptos y fases particulares de dicha informatización.
- El desarrollo del sistema algorítmico que garantiza la ejecución de las tareas de pronóstico, control y planificación.
- El diseño y desarrollo de software.
- La implantación del sistema mediante aplicaciones informáticas.

Para cada una de estas etapas se explican los resultados principales obtenidos, donde se destaca el sistema algorítmico para lograr implementar el lazo de control correspondiente a la optimización del proceso, así como el desarrollo de la aplicación computacional Tierra Ó que establece normas básicas para informatizar las tareas de pronóstico, planificación y control de la minería en yacimientos lateríticos en dicha empresa.

Palabras clave: minería, informatización, automatización, software.

ABSTRACT: The computerize of a process in a company is now one of the most complex problems to define and resolve, because it presupposes integrate in only one computerized systems all the activities of the process.

This work introduces the elements considered in the computerizing of the Basic Mining Unit of the Company Ernesto Che Guevara of Moa. The elements are deduced of:

- Preliminary studies of the situation the mining exploitation in this company.
- Concepts and particular phases of this computerize.
- Develop algorithms systems in order to guarantees the execution of the tasks of presage, control and planning.
- Design and develop software.
- Setting in practice of the systems by means of computational applications.

For each one of these stages are explained the principal outputs. Are outstanding the algorithms systems in order to setting in practice the corresponding knot of control to optimize the process as well as the development of the computational application Tierra Ó that establishes the basic norms for computerize the tasks of presage, planning and control of the mining in laterite deposits.

Key words: mining, computerize, automation, software.

INTRODUCCIÓN

Los primeros intentos de informatizar la minería del níquel en Cuba se remontan al año 1985, cuando se desarrolló el Sistema Níquel (EGS, 1985a), cuyo objetivo principal era automatizar el manejo de la base de datos geoquímicos. Este proceso se ha ido enriqueciendo con el perfeccionamiento del manejo de las bases de datos y la incorporación del pronóstico y control de la minería, sin embargo aún no se ha logrado integrar en un sistema único computarizado todas las actividades relativas al minado.

La informatización de un proceso en una empresa es actualmente uno de los problemas más complejos de enunciar y de resolver (Minería Panamericana, 1996; Chica Olmo, 1988; EGS, 1985b; Rodríguez Ruiz, 1990; Hillman, 1999; Vergara, 1998), ya que va más allá de la simple confección de un software, por excelente que sea su calidad, y su utilización posterior. En Cuba existían incipientes experiencias en materia de informatización de una empresa minera hasta tanto se decidió emprender la tarea en la Unidad Básica Minera de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (UBMECECG) de

Moa, provincia de Holguín. El objetivo de este trabajo es establecer las normas básicas para informatizar las tareas de pronóstico, planificación y control de la minería en yacimientos lateríticos con el fin de hacer óptima la explotación de éstos.

Para que se tenga una idea de las escalas en que se ha trabajado, diremos que en esta mina en el año 2000 se extrajeron y transportaron al proceso metalúrgico alrededor de $3,5 \times 10^6$ t de mineral para extraer aproximadamente 30×10^3 t de níquel+cobalto. Además, se trasladaron alrededor de $1,6 \times 10^6$ t de material estéril que debió ser almacenado de forma conveniente o usado con otros fines. Estas labores mineras se realizaron con equipamiento muy complejo y caro (5 excavadoras de cubo de arrastre y 2 retroexcavadoras), y la transportación, en camiones con capacidades que oscilan entre 20 y 40 t.

El proceso de informatización contribuyó a realizar una minería eficiente sobre un yacimiento con un alto nivel reconocido de variabilidad de las concentraciones del Ni, Fe y Co y de la potencia del cuerpo mineral, definido este último para los límites geoquímicos establecidos, contribuyendo de manera significativa al cumpliendo eficiente de los planes programados.

La dirección de la empresa, y en particular de la mina, ha emprendido la tarea de informatización como una de las principales en los procesos de modernización y perfeccionamiento empresarial que acomete.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la metodología se partió de las premisas siguientes:

- A. Necesidad del sistema pronóstico-planificación-control: La correcta planificación de la minería a partir de una modelación, adecuada del yacimiento y su control durante y después de la extracción (que a su vez define la corrección de la modelación) ejercen una influencia decisiva en el comportamiento de los principales índices técnicos y económicos generales de la empresa minera (Minería Panamericana, 1996; Chica Olmo, 1988; Legrá Lobaina, 1999; Lepin y Ariosa, 1990; Polanco Almanza, 1996).
- B. Necesidad de algoritmos y software especializados: Los yacimientos lateríticos del nordeste de Cuba por sus características naturales, exigen una minería particular para su explotación (Legrá Lobaina, 1999; Polanco Almanza, 1996), por ese motivo y debido al desarrollo histórico de la minería cubana del níquel, con una fuerte influencia norteamericana antes de 1959 y de la antigua Unión Soviética entre los años 1959 y 1990, la utilización de los software más difundidos en el mundo en esta rama pueden no ofrecer directamente los resultados óptimos esperados. En la actualidad, según nuestro conocimiento, no se han comercializado a escala internacional software especializados para la explotación de yacimientos de este tipo con las tecnologías que se emplean en Cuba.
- C. Existencia de conocimiento teórico-práctico: La in-

dustria cubana del níquel, basada en la explotación de yacimientos lateríticos, posee una rica experiencia de más de 50 años, y en las fábricas que explotan estos yacimientos se han seguido criterios análogos, observando las características propias de los mismos, equipamiento minero y proceso metalúrgico (Legrá Lobaina, 1999; Polanco Almanza, 1996). Esto es de vital importancia, pues junto a la existencia de centros como el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa y el Centro de Investigaciones de las Lateritas de Moa, que se dedican especialmente al estudio de la explotación óptima de estos yacimientos, a la búsqueda de información actualizada y al intercambio científico-técnico con especialistas y centros análogos cubanos y extranjeros, se dispone de un significativo nivel de conocimiento teórico y práctico sobre este tema.

- D. Existencia de experiencia en la informatización de la explotación minera: El gran volumen de datos geológicos sobre estos yacimientos y su diversidad, es un factor que ha dificultado desde el principio el análisis de múltiples variantes de explotación en períodos de tiempo breves, lo cual ha motivado que en ocasiones las decisiones adoptadas con métodos manuales no sean las óptimas e incluso racionales; sin embargo, esto ha dado lugar a que se hayan desarrollado desde 1986 (Aguilera y Carcassés, 1998; Belete et al., 1991; EGS, 1985a; EGS 1985b; ECECG, 1998; ISMM, 1999; EPSA MoaNickel, S.A, 2000) varios software que permitieran el manejo y el cálculo de algunos índices a partir de los datos conocidos.

Todo lo anterior ha motivado que la UBMECECG a partir de 1996, aunque ya existían algunos estudios (Rodríguez Ruiz, 1990), comenzara a estudiar de manera muy especial junto a especialistas de otras empresas, las vías para lograr en breve tiempo una verdadera informatización de las actividades relacionadas con la explotación de estos yacimientos.

¿Qué es informatizar un proceso técnico de una empresa?

Es necesario definir primero que es informatizar la empresa. Por ello entendemos crear las condiciones materiales para lograr el intercambio de información entre las entidades que constituyen la empresa, considerando sus niveles de jerarquía y el volumen de la información que se maneja mediante un conjunto de aplicaciones computacionales que generalmente funcionan organizados bajo una Red Local (Local Area Network, LAN) y, en los casos necesarios bajo una Red Global (Global Area Network, GAN) que agrupe a varias LAN. Este conjunto de aplicaciones debe cumplir ciertos requerimientos vinculados con su organización, su capacidad para resolver todas las tareas planteadas, su funcionamiento como sistema, así como otros requerimientos relacionados con la seguridad, fiabilidad, posibilidad de mantenimiento y desarrollo, existencia de documentación y manuales, optimización

de los procesos de almacenamiento, acceso, intercambio y procesamiento de la información, etc; asimismo estos software deben ser explotados, sobre el hardware disponible, por un personal suficientemente calificado y en continuo desarrollo profesional; todo esto presupone la existencia de bases de datos normalizadas y bien organizadas y completas. Informatizar un proceso técnico va más allá de este intercambio y procesamiento óptimo de la información bajo las condiciones explicadas, ya que además se debe considerar la optimización, según ciertas variables, de la ejecución del proceso específico que se informatiza, el cual generalmente transcurre en tiempo real y se vincula al uso de sensores y de autómatas, y es, además, una tarea que precisa una altísima calificación profesional.

Por todo lo anterior, la informatización de la empresa que analizamos se ha definido para cuatro etapas:

- I. Estudio preliminar de la situación y planteamiento de los conceptos básicos y fases de la informatización.
- II. Definición de los sistemas algorítmicos que se van a emplear.
- III. Diseño y desarrollo de los software necesarios.
- IV. Implantación de los sistemas desarrollados.

- I. Etapa del estudio preliminar de la situación y planteamiento de los conceptos básicos y fases de la informatización

La Empresa Geominera de Oriente desarrolló por encargo de UBMECECG un profundo estudio sobre la situación real de la información en la mina respecto a su diseño, completitud, normalización, fiabilidad y nivel de digitalización (EGO, 1997a; EGO, 1997b; EGO, 1999), donde también se tomaron en cuenta los estudios que se realizaron anteriormente (EGS, 1985a; EGS, 1985b; Rodríguez Ruiz, 1990). Con estos resultados se confeccionó en la UBMECECG un modelo detallado de la situación informática, a partir del cual se definieron los siguientes conceptos:

- A. Niveles para la organización de la ejecución de las tareas de informática en la mina:

- Nivel estratégico: Corresponden los análisis y las orientaciones más generales y esenciales para el funcionamiento del sistema informativo.
- Nivel táctico: Se originan las informaciones e instrucciones necesarias para el funcionamiento del nivel operativo (departamentos Técnico y de Geología) y se realiza el procesamiento y análisis de los datos aportados por este último.
- Nivel operativo: Se corresponde con los puntos que realizan la producción y en él fundamentalmente se generan los datos.

- B. Los componentes del flujo informativo de la mina, en general puede describirse como:

- Sección de Geología.
- Sección Técnica.
- Despacho de Producción.
- Sección de Economía.

- Sección de Mantenimiento.
- Dirección de la Mina.

- C. Las bases de datos principales que intervienen en el flujo informativo de la mina son:

- Base de datos geológicos.
- Base de datos topográficos.
- Base de datos de recursos y reservas originales.
- Base de datos de recursos y reservas reevaluadas.
- Base de datos de recursos y reservas agotadas.
- Base de datos operacionales.
- Base de datos económicos.
- Bases de datos de mantenimiento.

- D. Elementos básicos de la informatización de la mina:

- Hardware: Equipamiento.
- Software: Aplicaciones (programas).
- Orgware: Organización de la información y del trabajo con la misma.
- Humanware: Superación y organización de los recursos humanos.

- E. Fases para la informatización de la mina:

- Primera etapa: Familiarización del personal con la intervención de la computadora en la gestión diaria y uso opcional de aplicaciones generales para la solución de problemas relacionados con manejo y análisis de los datos.
- Segunda etapa: Solución de los requerimientos básicos de hardware (incluyendo las redes), software (manejo de las bases de datos, tratamiento y análisis de la información), orgware (normalización y confección de las bases de datos) y humanware (capacitación básica del personal técnico y administrativo en la explotación de los sistemas). La computación deja de ser un recurso opcional. Se dedica menos tiempo al control manual de procesos y datos y mayor tiempo al análisis y corrección de la modelación y de la optimización de las operaciones mineras.
- Tercera etapa: La computadora es una herramienta común y necesaria para el trabajo diario. Esta etapa está dirigida a la automatización de la obtención de los datos mediante la aplicación de autómatas en los equipos topográficos, excavadoras, equipos de transporte, básculas, etc., y a una creciente automatización de la toma de decisiones óptimas.

Asimismo se definió un plan de trabajo a largo plazo cuyo objetivo general es concretar las etapas para la informatización de la mina. Este plan ha debido ser desglosado en varias tareas relacionadas con la informatización de los grupos de actividades afines, para ello fue necesario establecer los sistemas algorítmicos que se debían emplear.

- II. Definición de los sistemas algorítmicos que se deben emplear

La necesidad de sistemas algorítmicos generales son:

- A. Sistema Administrativo General (SAG) de la UBMECECG. Aquí se incluye el control económico de todas las actividades.

- B. Sistema para el Control de la Minería Realizada (SCMR) desde el punto de vista del equipamiento utilizado y del material extraído, transportado, almacenado y enviado a la planta metalúrgica.
- C. Sistema para el Pronóstico (define los recursos y reservas a partir de modelos geométricos, geoquímicos, geofísicos, hidrogeológicos, etc.), planificación de la minería (planes para cinco años, anuales, mensuales, para cinco días y diarios) y control de la minería (control topográfico, de recursos, de reservas y del destino del material extraído) que denotamos SPCPM.
- D. Sistema para la Planificación y Control del Mantenimiento del Equipamiento (SPCME).

Cada uno de estos sistemas algorítmicos es desarrollado atendiendo a:

1. Cubrimiento total de las necesidades actuales mediante las herramientas diseñadas.
2. Herramientas modulares y de comprobada eficiencia.
3. Debe ser un sistema abierto al desarrollo de nuevas herramientas y al mejoramiento de las actuales.
4. Debe ser compatible y tener conexión real o potencial con el resto de los sistemas.

Hasta el momento se han desarrollado de modo paralelo y por parte de diferentes entidades y bajo la supervisión de un Administrador de Red, algunos de estos sistemas algorítmicos soportados en una o varias aplicaciones computacionales para cada uno (Aguilera y Carcassés, 1998; ECECG, 1998).

Para el desarrollo del SPCPM (con el algoritmo y software correspondiente) se diseñó un proyecto al que se llamó Tierra, es por ello que en lo adelante nos referiremos a AT cuando se trate del algoritmo del sistema y a ST para el software del sistema.

Para la elaboración del AT se recogió la experiencia práctica acumulada durante años de explotación de yacimientos lateríticos en Cuba, se analizaron las ideas manejadas en nuestro país y el extranjero con respecto a la explotación de las lateritas que han sido publicadas y aun aquellas que fueron expuestas oralmente a los autores, se crearon nuevos algoritmos y criterios, y se defendió la metodología en una tesis doctoral (Legrá Lobaina, 1999). Se consideró, además, la experiencia mostrada en otros software (Mineral Industrie Computing LTD, 1999; Earth Resource Mapping, 1999; Earth Works Corporation, 1999; Gencom Software International Inc., 1998; Surpac Software International, 2000).

En esta etapa se partió del hecho de que el enfoque actual debía ser compatible con el enfoque futuro basado en la automatización y es por ello que se abordó la situación como un problema de control de proceso. En este aspecto fue necesario definir un lazo de control y los métodos que proporcionarían la optimización en el sentido deseado; estos últimos fueron:

1. La vinculación del modelo geoquímico al grado de madurez de la corteza de intemperismo y el uso del Kriging (mejor estimador lineal insesgado) para realizar las estimaciones puntuales y de bloque.

2. Consideración de variantes de reservas eficientes desde el punto de vista económico, válidas para disminuir los gastos y aumentar las ganancias.
3. Método de optimización binaria en la solución del problema de la planificación operativa.
4. Aprovechamiento de toda la información disponible en cada momento.

El lazo de control quedó planteado como se observa en la figura 1.

Hasta el momento, el subsistema de pronóstico tiene como objetivo modelar geoméricamente cada uno de los bloques que forman cada yacimiento, las masas volumétricas en el yacimiento y cada bloque para la concentración de Ni, Fe y Co. Todas las modelaciones se realizan con técnicas de Splines (Legrá Lobaina, 1999), de Geoestadística Lineal (Chica Olmo, 1988; Legrá Lobaina, 1999) y algunos métodos especiales creados con este fin (Legrá Lobaina, 1999). A partir de los resultados anteriores se calculan los recursos. Se ha enfatizado en el manejo amigable de la información y en el acceso a la misma mediante tablas y gráficos adecuados.

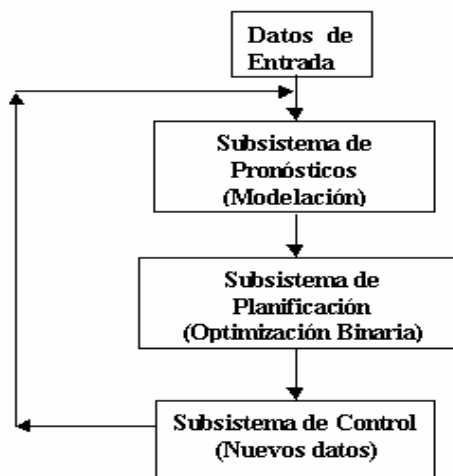


Fig. 1. Lazo de control.

El subsistema de planificación permite definir las reservas usando un adecuado nivel de automatización que incluye el uso de técnicas elementales de valoración económica, también herramientas para la planificación anual, mensual, de períodos de cinco días y diarios en las que se añaden opciones que dan un adecuado dinamismo a estas actividades.

El subsistema de control tiene como centro el chequeo permanente de la topografía del terreno a partir de un adecuado modelo digital del terreno y de las fronteras horizontales de las capas tecnológicas. Se controlan los recursos, las reservas, el material extraído y el destino del mismo a partir de cálculos de alta precisión realizados en períodos de tiempo arbitrarios. Las herramientas gráficas incluidas facilitan la obtención de planchetas, perfiles, planos y vistas tridimensionales de los bloques.

¿Por qué el algoritmo Tierra tiene una concepción de sistema?

Porque se basa en un conjunto de principios, reglas y métodos para el desarrollo de la minería en los yacimientos lateríticos ferroniquelíferos cubanos, el cual está formado por los subsistemas de pronóstico, de planificación y de control de la actividad de minado, que están interrelacionados entre sí desde el punto de vista estático y dinámico, lo que facilita, en principio, la automatización de todas las actividades; además, este sistema es una metodología, puesto que permite el seguimiento de la extracción del mineral en toda la explotación del yacimiento y la toma de las decisiones necesarias, basadas en criterios científicos modernos, para disminuir los parámetros que influyen negativamente en el proceso: pérdidas, empobrecimiento, no cumplimiento del volumen y de la calidad del mineral enviado por unidad de tiempo al proceso metalúrgico, uso inadecuado del equipamiento de extracción, afectaciones al medio ambiente y baja rentabilidad económica.

III. Desarrollo de los software necesarios

De las concepciones del AT y usando la programación visual y orientada a objeto, surgió el diseño de los programas que constituyen el ST. Los detalles sobre el mismo pueden verse en el Manual de Usuario (ISMM, 2000).
¿Qué es Tierra?

Es una aplicación en continuo desarrollo formada por un conjunto de archivos ejecutables, de extensión de los ejecutables, de configuración, de seguridad, fuentes y de ayuda, que permiten el manejo de las bases de datos de hasta 10 yacimientos lateríticos para el pronóstico, la planificación y el control de la minería en una empresa minera.

¿Cómo se desarrolló Tierra?

La metodología que se plantea fue desarrollada por los autores desde 1996 con la indispensable colaboración de otros profesionales y su esencia científica fue defendida exitosamente (Legrá Lobaina, 1999). Esta metodología y el software permanecen siempre en desarrollo puesto que responden al proceso de perfeccionamiento de las empresas que los usan.

El diseño del software se realizó atendiendo a los requerimientos, explícitos e implícitos, planteados por los usuarios, pero siempre teniendo en cuenta la incorporación de herramientas matemáticas, técnicas y computacionales modernas.

La programación se desarrolló en Delphi 2.0 Developer (C) de Borland International, Inc.

Este sistema se está explotando bajo una Red Novell (con 12 estaciones de trabajo) con resultados que consideramos aceptables. Es evidente la necesidad de lograr mayores y más actuales niveles de integración del ST al trabajo con redes Novell y WindowNT, cuestión que se analiza para futuras versiones.

Las bases de datos se manejan mediante sencillas tablas normalizadas de texto separadas por tabuladores,

lo cual permite un uso fácil y generalizado de las mismas. Estas tablas están protegidas por los sistemas de control de acceso a carpetas de la plataforma que se emplee (esto está muy generalizado) y en particular se presentan dos sistemas complementarios de protección: ROH (Read Only and Hidden), que mantiene los atributos de todos los archivos bajo estas condiciones, y ZAL, que mantiene compactadas las tablas con acceso exclusivo desde TIERRA. Además, el ST presenta un sistema de seguridad que garantiza que el acceso a sus opciones sea personalizado por un Administrador de la Aplicación. Sin embargo se tienen previstos los conceptos teóricos para desarrollar interfaces con otros sistemas de manejo de bases de datos (ISMM, 1999).

Debe enfatizarse que usar un software no sólo significa instalarlo, es imprescindible que la información que utilice esté libre de errores y se escriba en el momento adecuado. Además, debe comprenderse que el software es solo un conjunto de herramientas y que los resultados de su explotación dependen de la inteligencia y disciplina de quienes lo empleen.

IV. Implantación del sistema

No es exagerado decir que esta es la etapa más compleja y delicada de todas debido a lo siguiente:

- El nivel de formación técnica desigual de los trabajadores de las minas.
- La gran rapidez en la introducción de nuevas tecnologías para manejar la información.
- La esperada resistencia al cambio ofrecida por algunos trabajadores.
- La complejidad de la organización del tránsito de los sistemas manuales y semiautomatizados a los sistemas automatizados.

Conocidos estos elementos, la tarea se diseñó meticulosamente y para ello la administración de la mina tomó en el año 2000 las medidas necesarias para que:

1. Se adiestraran los trabajadores en el uso del ST.
2. Se definieran los plazos en que cada tarea pasaría a ser realizada con el ST, lo cual siempre se realizó en tres etapas: prueba experimental, trabajos paralelos entre el sistema viejo y el nuevo y, por último, implantación absoluta del sistema nuevo.

La fase de implementación, además de lograr en gran medida su propósito, ha provocado un importante proceso de retroalimentación para los autores, lo cual ha facilitado el mantenimiento de ST y ha inspirado muchas de las ideas que ya se tienen para futuras versiones; debe señalarse entonces que, en la actualidad, este trabajo se desarrolla establemente y los resultados obtenidos satisfacen a todos, aunque ya se trabaja en la versión 2.0, la cual incorpora elementos no considerados en la versión anterior.

Este trabajo ha sido realizado en una de las tres empresas que extraen y procesan el mineral laterítico en Cuba, pero puede generalizarse (o integrarse con trabajos similares) a las demás con las adaptaciones correspondientes, referidas principalmente al tipo de red usada

en el muestreo y a algunas características particulares en el sistema de control y planificación. La homogeneización de los sistemas de explotación de las tres empresas contribuiría a la posible creación de una sola empresa minera que ofreciera servicios a todas las plantas metalúrgicas de níquel cubanas.

CONCLUSIONES

Se logró establecer, mediante el algoritmo y el sistema TIERRA, las normas básicas para informatizar las tareas de pronóstico, planificación y control de la minería en yacimientos lateríticos, lo que demostró que técnicos y profesionales locales trabajando mancomunadamente, pueden asumir con éxito una de las tareas más complejas que se presentan en la minería a cielo abierto y que son protagonizadas en el mundo, tal vez debiera decirse monopolizadas, por una pocas compañías cuyos productos son bien conocidos: GEMCOM (Gencom Software International Inc., 1998), DATAMINE (Mineral Industrie Computing LTD, 1999), SURPAC (Surpac Software International, 2000), VULCAN (Malecon Minerals and Metals, 1997), WITTLE (Wittle Programming Pty LTD, 1999), SURFER (Golden Software Inc., 1999), ER MAPPER (Earth Resource Mapping, 1999), etcétera.

AGRADECIMIENTOS

Independientemente de que algunas personas tengan papeles protagónicos en el éxito de este proyecto, el mismo no hubiera sido posible sin la colaboración de un colectivo numeroso y entusiasta que incluye a los que han instalado el hardware necesario, a los que han tecleado los datos y a otros muchos que, incluso hoy, se esfuerzan para que los sistemas trabajen de forma estable.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA, R. Y J. CARCASSÉS: "Automatización del Cálculo de Volumen de Escombro Removido y Mineral Extraído", XII Forum de Ciencia y Técnica de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, 1998.
- BELETE, O., A. A. LEGRÁ LOBAINA Y M. LORES VIDAL: "Automatización del Cálculo de Volúmenes de Minerales Útiles", II Simposio Internacional de Minería y Geología, CIPIMM, Ciudad Habana, 1991.
- CHICA OLMO, M.: Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales, Universidad de Granada, España, 1988.
- EARTH RESOURCE MAPPING: ER Mapper, Versión 5.5 (Software), USA, 1999.
- EARTH WORKS CORPORATION: Earth Works Exploration Office, Versión 2.0 (Software), 1999.
- EMPRESA COMANDANTE ERNESTO CHE GUEVARA ECECG: GeoSurf (Software), Moa, Holguín, 1998.
- EMPRESA GEOMINERA DE ORIENTE EGO (SERVICIOS DE INFORMÁTICA): "Análisis de Sistema Informativo de la Mina Comandante Ernesto Che Guevara", Santiago de Cuba, mayo, 1997.
- : "Análisis Informático del Componente Geología de la Mina Ernesto Guevara", Santiago de Cuba, julio, 1999.
- : "Base de Datos Geológicos Mina Che Guevara. Estructura", Santiago de Cuba, mayo, de 1997.
- EMPRESA DE GEOLOGÍA SANTIAGO EGS: "Sistema automatizado para el cálculo de reservas en yacimientos níquelíferos", en Manual de explotación del Sistema Níquel, Santiago de Cuba, 1985a.
- : "Sistema automatizado para el cálculo de reservas en yacimientos níquelíferos", en Manual de usuarios del Sistema Níquel, Santiago de Cuba, 1985b.
- EPSA, MOA NICKEL S.A.: Sistema Integral Minero (Software), Moa, Holguín, 2000.

- GENCOM SOFTWARE INTERNATIONAL INC.: Gencom for Windows User Manual, Versión 98.01, 1998.
- GOLDEN SOFTWARE, INC.: SURFER, Surface Mapping System (Software), Versión 7.0. Jan 1, 1999.
- HILLMAN, BARRY: "Bringing the mine to the office", Mining Magazine, 178 (4) : 241-244, april, 1998.
- ISM: Programa Explorador de Pinares. Manual de Usuarios, Versión 1.0, Moa, Holguín, 1999.
- : TIERRA, Versión 1.9, Manual de Usuarios, Moa, Holguín, 2000.
- LEGRÁ LOBAINA, A. A.: "Metodología para el Pronóstico, Planificación y Control Integral de la Minería en Yacimientos Lateríticos". Tesis de Doctorado. ISPJAE, Departamento de Geofísica, Ciudad de La Habana, septiembre, 1999.
- LEPIN, O. Y J. D. ARIOSA: Búsqueda, Exploración y Evaluación Geológico-Económica de Yacimientos de Minerales Sólidos, 2 t., Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1990.
- MALECON MINERALS AND METALS: "Results of the Geological Due Diligence Study carried out over the Las Camariocas Nickel Laterite Deposit at Moa, Eastern Cuba", Technical Report, Las Camariocas, Moa, Jan, 1997.
- MINERAL INDUSTRIE COMPUTING LTD: Datamine Studio (Software), 1999.
- MINERÍA PANAMERICANA: "Herramientas para la optimización de minas" (Reportaje Especial), Edición Continental, México, junio, 1996.
- POLANCO ALMANZA, R. G.: "Dirección de los Flujos de Mineral en los Yacimientos Lateríticos". Tesis de Doctorado. ISMMM, Departamento de Minas, 1996.
- RODRÍGUEZ RUIZ, H. J.: "Premisas geológicas para la automatización integral de los trabajos de prospección en yacimientos níquelíferos de interperismo". Tesis de Doctorado. ISMM, Departamento de Geología Aplicada, Moa, 1990.
- SURPAC SOFTWARE INTERNATIONAL: SURPAC VISION, Versión 4.0 H (Software), Australia, 2000.
- VERGARA R., R.: "Software se abren camino en sector minero", Latinominería, 29 : 63-65, marzo, 1998.
- WITTLE PROGRAMMING PTY LTD: Four X – Proteus Environment (Software), Australia, 1999.