



YACIMIENTOS NIQUELIFEROS DEL NORTE ORIENTAL CUBANO. CARACTERIZACION GEOLOGICA.

Rosa María Cobas Botey, Niurka Despaigne Bueno

Empresa Geominera de Oriente

Carretera Siboney, Km 2½, Santiago de Cuba, Cuba. e-mail: rcobas@geom.stg.minbas.cu

RESUMEN

El presente trabajo forma parte del tema para la obtención del grado científico de la autora principal utilizando información de trabajos ejecutados en el campo, la recopilación de otros estudios, la reinterpretación y la orientación para una mejor utilización de las variables geológicas históricamente estudiadas en los yacimientos lateríticos de la región oriental.

Se eleva el conocimiento de los modelos geológicos de los yacimientos lateríticos, su distribución espacio temporal, vinculación de la mineralización con el relieve, y de las características geológico geomorfológicas en general, lo que trae como consecuencia, la elevación de la calidad y la optimización de los futuros trabajos mineros, pues se profundiza en el conocimiento geológico de los depósitos lateríticos.

Una vez diseñados los patrones geológicos para los tipos de yacimientos, estos se pueden extender a otros, dando la posibilidad que la minería se proyecte con mayor precisión y así lograr un uso más racional de los yacimientos mediante la minería de bancos. Posibilitará también la definición de las intercalaciones, la proyección de los sistemas de drenaje, la extensión de la mineralización, etc. Ayudará a la proyección de la futura infraestructura minera en general (camino, escombreras, etc.).

Pueden ser utilizados en las nuevas técnicas de modelación de recursos geológicos y de diseños mineros. Esto llevaría a una utilización óptima de las voluminosas variables geológicas estudiadas durante años en las lateritas cubanas.

ABSTRACT

Present paper is part of the thematic research of eastern region lateritic ore deposits using direct field work data, data from other sources, reinterpretation and new orientation for a better understanding and use of historic geological variables. Thematic research is intended for a PhD of principal author.

Scientific knowledge of lateritic ore deposits geological models, its space-temporal distribution, relationships between mineralization and relief and geological-geomorphological characteristics are upgraded.

The above will allow a better quality and optimization of future mining works due to a deeper geological knowledge of lateritic ore deposits.

Once designed the geological patterns of different types of ore deposits they could be extrapolated to related ones for a better and precisely mining works including the bench mining. This will also allow definition of intercalations, projection of drainage systems, extension of mineralization, projection of future infrastructure in general (roads, dump pits), and in consequence a more rational exploitation of lateritic ore mineral deposits.

The results could be used too in new modeling techniques of geological resources and mining designs with an optimum use of voluminous, historic geological variables of Cuban laterites.

Introducción

La condición principal para el desarrollo del perfil de intemperismo en la región nororiental de Cuba fue la existencia del complejo ofiolítico, el cual está representado por el complejo



peridotítico compuesto por las peridotitas (harzburgitas, lherzolitas, wherlitas), dunitas y piroxenitas y por un complejo cumulativo compuesto por diques de gabros, microgabros y diabasas. Estas rocas se encuentran altamente tectonizadas y serpentinizadas.

Los estudios geológicos en las lateritas de Cuba Oriental han sido realizados por diferentes autores, con diferentes objetivos existiendo una voluminosa información diseminada en documentos y artículos independientes. La información existente no es adecuadamente utilizada por la industria extractiva por lo que se requiere una sistematización de las variables geológicas en los diferentes yacimientos estudiados, de forma tal que sean adecuadamente utilizados por la industria extractiva.

En el presente trabajo se caracteriza geológicamente cada yacimiento por ser cada uno un objeto geológico diferente, facilitando la utilización adecuada de cada una de las variables geológicas conocidas. Se comprueba el vínculo del desarrollo de las cortezas de intemperismo con el relieve en general y las pendientes, es obvio destacar que además para el desarrollo y conservación de las mismas influyen factores climatológicos mineralógicos, hidrogeológicos, hidrológicos, tectónicos, etc.

Desarrollo

Para la confección del presente trabajo se utilizaron los datos soportados magnéticamente en Base de Datos de los estudios de Búsquedas Detalladas y Evaluativas y Exploraciones Detalladas y Orientativos realizados en los sectores de Piloto y Camarioca Norte y Sur por diferentes especialistas de la Empresa Geominera de Oriente /1/, /3/, /4/ y /5/, utilizando los datos de los pozos y los resultados químicos de los elementos fundamentales y nocivos de estos sectores. Además se utilizó el estudio de la composición sustancial y petrográfica de los mismos.

Las redes utilizadas en estos trabajos de campo fueron de 300x300 m, 100x100 m y 33.3x33.3 m. Se confeccionan planos de pendiente, relieve y potencias de las cortezas y de los diferentes horizontes característicos de las cortezas fundamentalmente, así como gráficos de las variaciones de las diferentes concentraciones de los elementos en cada litología. Los planos confeccionados se realizaron utilizando el Software Surfer 7 y los gráficos se realizaron con el software Excel 98.

Además se trabajó con información de estudios de composición sustancial y petrográfica. Se preparó la información separando los diferentes horizontes de la corteza, los limoníticos, el horizonte que transiciona entre las limonitas y las saprolitas y las saprolitas asociándose a su vez con las diferentes concentraciones de los elementos útiles y nocivos.

Los yacimientos niquelíferos de Cuba de interés industrial se encuentran ampliamente distribuidos en el Norte Oriental de Cuba, desarrollados sobre las ofiolitas emplazadas en esta región.

Estos yacimientos niquelíferos en gran medida se desarrollan sobre superficies de nivelación elevadas a diferentes alturas, las cuales poseen diferentes génesis y desarrollo. (Formell et al)

Como resultado del análisis de estos gráficos y planos se concluye que los elementos fundamentales (Ni y Co) están asociados a las zonas saprolíticas y de transición, en lo fundamental, los elementos nocivos o no industriales están asociados a las saprolitas (SiO₂,



MgO), el Al_2O_3 se encuentra en la zona de las limonitas fundamentalmente pues es donde existen las condiciones propicias para su concentración.

El factor geomorfológico juega un papel importante en los procesos de formación de las cortezas de intemperismo, conociéndose que es necesario un relieve lo suficientemente elevado como para permitir una adecuada transferencia de las aguas y al mismo tiempo lo suficientemente aplanado para permitir la conservación de los productos del intemperismo (Formell et al), procedimos a evaluar este factor con la confección de los planos de pendientes de tres sectores que se ubican en superficies de nivelación de diferentes alturas según Formell et al desarrollados en el límite suroeste de las ofiolitas del Norte oriental cubano.

En los planos de pendientes se encuentra una estrecha relación entre las pendientes favorables para el desarrollo y conservación de las cortezas que son entre los 5 y 20° y las mayores potencias, relacionándose con las cortezas de más productividad en los diferentes sectores, donde se observa claramente el carácter prototectónico de las dislocaciones tectónicas de las hiperbasitas.

En el plano de pendiente confeccionado en el yacimiento Piloto se observa claramente el desarrollo de la red hidrográfica así como las áreas donde las pendientes oscilan entre el rango de 5 a 20° que son a las que se vinculan las mayores potencias y que poseen interés industrial. Según se muestra en el plano de las cortezas las áreas coloreadas en verde, anaranjado, magenta y rojo son las que controlan las mayores potencias de las cortezas de intemperismo. En este plano se destacan claramente las zonas por donde circulan las corrientes superficiales, las que también juegan un papel importante en el desarrollo y conservación de las cortezas ya que facilitan la transferencia de las aguas.

El yacimiento Piloto se encuentra ubicado dentro de la clasificación realizada por Formell et al en su trabajo "Relación entre el relieve y las cortezas de intemperismo del Nordeste de Oriente, Cuba" en el Primer Grupo, donde son características las montañas de cimas aplanadas, mesetas o Plateaus, elevadas a diferentes alturas, entre 500 y cerca de los 1000 m sobre el nivel del mar. Junto a Piloto se ubican dentro de una sola superficie de nivelación Los Mulos, Iberia, Cupeyal, Buenavista. Analizamos al Yacimiento Piloto. A continuación el plano de pendientes de éste.

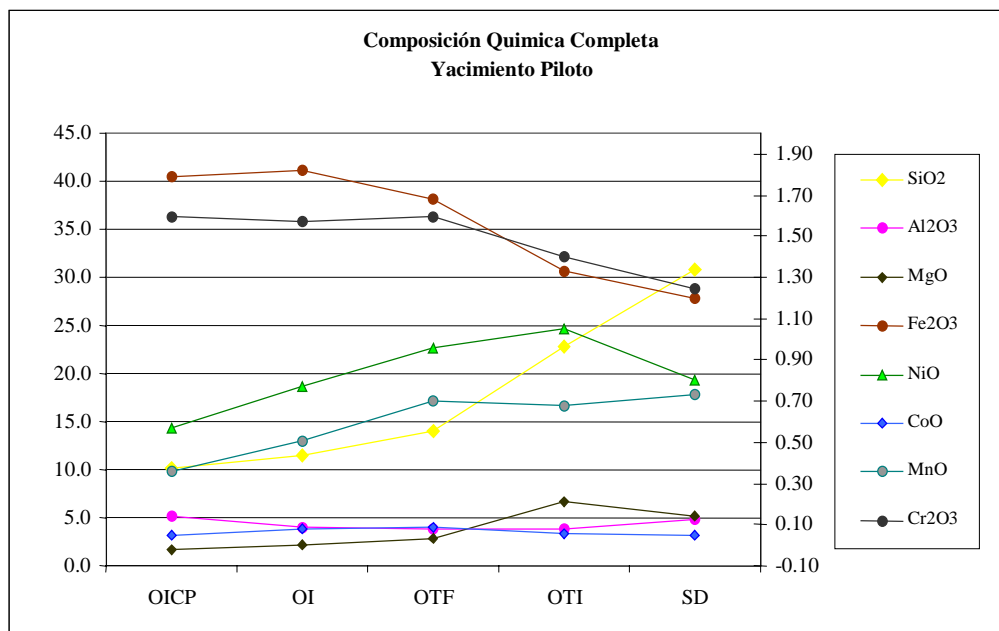
El yacimiento Camarioca Sur se encuentra en un nivel de terraza inferior al Yacimiento Piloto (Formell et al), en cotas que oscilan entre 400 a 600 m S.N.M observándose que las pendientes que controlan la envolvente mineral se encuentran entre los 5 a 20°. El plano de pendiente de este yacimiento muestra la relación entre estas pendientes y las áreas de mayor potencia de desarrollo de la corteza.

En los planos de corteza confeccionado en los diferentes sectores y en los planos por zonas del perfil de la corteza de intemperismo se observa claramente las diferentes tendencias de las direcciones estructurales en forma romboédrica, notándose el carácter prototectónico de las serpentinitas. Esta característica destaca la sinuosidad de los fondos de las cortezas ya que por estas rupturas se facilita el movimiento de las aguas y por ende del intemperismo, provocando áreas de mayor potencia de la corteza alternas con áreas de menos potencia.

En el siguiente gráfico se muestra el quimismo de las cortezas del yacimiento Piloto, en el eje principal se muestran los % de los elementos Fe_2O_3 , SiO_2 , Al_2O_3 y MgO. En el eje secundario se muestran las concentraciones de los % de los elementos Cr_2O_3 , NiO, MnO, CoO, en sentido general el quimismo se comporta de forma típica, el hierro y el cromo disminuyen con la



profundidad, el manganeso y el cobalto muestran un ligero pico en la concentración en los ocreos estructurales finales, disminuyendo con la profundidad. El aluminio se concentra muy poco manteniendo en lo general una cierta estabilidad en el corte, baja en el final de las limonitas y en el inicio de las saprolitas.



Nota: OICP-Ocre inestructural con perdigones; OI- Ocre inestructural; OTF- Ocre textural final; OTI- Ocre textural inicial; SD- Serpentina desintegrada

Desde el punto de vista mineralógico predominan en el sector Piloto las apoharzburguitas, harzburguitas serpentinizadas y las wherlitas serpentinizadas. Los contenidos de magnesio de estas rocas es variable, notándose altos valores en las harzburguitas serpentinizadas que van desde 5 a 37 % y en las wherlitas que van desde 3.9 hasta 40 %, a valores inferiores en las apoharzburguitas que se encuentran entre los 0.8 a 20 %. Los valores de la sílice en las harzburguitas serpentinizadas y en las wherlitas comienzan en los horizontes superiores con valores por encima del 15%, llegando a alcanzar más de 35 %, sin embargo en las apoharzburguitas los horizontes superiores alcanzan desde alrededor de 4% hasta más de 35%.

Conclusiones

La información geológica existente de los yacimientos ferroniquelíferos cobaltíferos del Norte oriental cubano poseen una valiosa utilidad y en la cual debe continuarse trabajando para la sistematización de la misma y su mejor utilización en las proyecciones mineras.

Con este trabajo se confirma la hipótesis de su estrecho vínculo con el relieve y las pendientes, así como del comportamiento de la envolvente mineral con su forma sinuosa en el techo y fondo dando un nuevo elemento a las industrias extractivas. Este parámetro utilizado adecuadamente puede ser un punto de partida para una minería más óptima de las reservas existentes, utilizando estas características geológicas para la proyección de equipamiento, vías de acceso, bancos y altura de los mismos etc.



Bibliografía

- /1/- Cobas B. R y otros, 1997; Informe sobre la Exploración Orientativa del Yacimiento Piloto. Empresa Geominera de Oriente.
- /2/- Formell C. F. y otros; 1982. Relación entre el relieve y las cortezas de intemperismo del Nordeste de Oriente, Cuba.
- /3/- Ivanov V. y otros, 1984; Exploración Detallada del yacimiento de menas níquelíferas Las Camariocas, realizado durante los años 1976-1978 con el cálculo de Reservas actualizado hasta el 1º de Enero de 1984. Empresa Geominera de Oriente.
- /4/- Pérez A., R. y otros, 1990; EO Las Camariocas. Camarioca Este, Norte y Sur para la evaluación de las menas níquelíferas cobálticas 1985-1990. Cálculo de Reservas 1994. Empresa Geominera de Oriente.
- /5/- Rodríguez O., Almaguer A. y otros, 1989; Informe de los resultados de los trabajos geológicos de Búsqueda Detallada y Evaluativa realizada en los sectores La Delta, Cupey, Cantarana, Santa Teresita y Piloto. Años 1981-1989. Empresa Geominera de Oriente



DIFERENCIAS EN EL DESARROLLO MORFOESTRUCTURAL DE LAS REGIONES METALOGÉNICAS EXÓGENAS DE ORIENTE SEPTENTRIONAL Y CAMAGÜEY CENTRAL Y SU INFLUENCIA EN LA FORMACIÓN DE LAS CORTEZAS DE INTEMPERISMO NIQUELÍFERAS.

Francisco Formell Cortina

C. Elect: fformell@cubarte.cult.cu

RESUMEN

Las diferencias en la evolución morfoestructural entre las regiones metalogénicas exógenas de Oriente norte y Camagüey central han condicionado el desarrollo espacio-temporal diferenciado de las cortezas de intemperismo níquelíferas que existen en ambos territorios.

Mientras que en el bloque morfoestructural de Oriente septentrional los movimientos recientes de la corteza terrestre se han caracterizado por fuertes levantamientos que comenzaron en el Plioceno y continúan en nuestros días, en el bloque morfoestructural de Camagüey central esos movimientos han sido mucho más débiles, dando lugar a una mayor estabilidad de la región y por tanto al desarrollo de un relieve mucho más maduro y mucho más antiguo que en Oriente septentrional. Esto ha traído por consecuencia que mientras que en la región metalogénica de Oriente norte las cortezas en general se caractericen por perfiles abreviados de la formación menífera goethito ferro-cobalto-níquelífera y potencias moderadas (a excepción de las áreas con ocurrencia de dislocaciones disyuntivas, o relieves ondulados con presencia frecuente de contrapendientes), en Camagüey por el contrario las cortezas presentan perfiles completos, a veces complejos de la formación menífera nontronito-níquelífera con grandes potencias de sus perfiles.

Por otra parte, mientras que en Oriente la transferencia de las aguas es generalmente intensa o de intensidad media, en Camagüey la transferencia de aguas es generalmente lenta marcando esto otra importante diferencia entre ambas regiones metalogénicas en cuanto a la presencia de sílice libre en el perfil de las cortezas.

En los perfiles de las cortezas orientales prácticamente no hay presencia de sílice libre, mientras que en Camagüey, los perfiles se caracterizan por abundante sílice libre en forma de ópalos, calcedonias y marshalita presentes en prácticamente todos los horizontes de la corteza de intemperismo.

Abstract

Differences in morphostructural evolution between northern Oriente and central Camaguey metallogenical regions have conditioned differentiated space-temporal development of nickel bearing weathering crusts existing in those regions.

While in northern Oriente morphostructural block, recent movements of earth crust have been characterized by strong uprisings starting in Pliocene and continuing up to date, in central Camaguey morphostructural block, those movements have been much more weak, giving rise to a more stability of the region and therefore to the existence of a much more older and mature relief of that of northern Oriente.

Consequently while in northern Oriente metallogenical regions in general, profiles of nickel bearing weathering crusts are abbreviated of the goethite-iron-cobalt-nickeliferous meniferous formation(oxide ores) with moderated thicknesses(with the exception of areas of hilly landscape and presence of faults), in Camaguey on the contrary profiles are usually complete, sometimes complexes of the nontronite-nickeliferous meniferous formation(silicate ores) and with great thicknesses of the weathering crust.



Otherwise, while in Oriente water transference is usually intense or medium intense, in Camaguey, water transference is generally slow giving rise to another important difference related to the presence of free silica in the profile of the weathering crust.

While in northern Oriente weathering crust profiles, free silica is generally absent, in Camaguey is common the presence of free silica as opals, chalcedonies and marshalite in practically all the horizons of the profile.

Introducción

Las diferencias en la evolución morfoestructural entre las regiones metalogénicas exógenas de Oriente norte y Camagüey central han condicionado el desarrollo espacio-temporal diferenciado de las cortezas de intemperismo niquelíferas que existen en ambos territorios.

Discusión

La región metalogénica exógena de Oriente septentrional se caracteriza por poseer los mayores yacimientos de níquel lateríticos de Cuba. En esa región se han conjugado de manera favorable todos los factores que intervienen en la formación de las cortezas de intemperismo niquelíferas.

Como es conocido el factor geomorfológico juega un importante papel en los procesos de formación de las cortezas de intemperismo. Es necesario un relieve lo suficientemente elevado como para permitir una adecuada transferencia de las aguas y al mismo tiempo lo suficientemente aplanado para permitir la conservación de los productos del intemperismo que se forman.

Los yacimientos niquelíferos del nordeste de Oriente en gran medida se desarrollan sobre superficies de nivelación elevadas a diferentes alturas, las cuales poseen diferentes génesis y desarrollo. Dada la estrecha relación entre estas superficies y las cortezas de intemperismo que sobre ellas se desarrollan, el esclarecimiento de la génesis y edad de aquellas es fundamental para la comprensión adecuada de los procesos que han conducido a la formación de las cortezas de intemperismo niquelíferas de Cuba oriental.

De acuerdo con los datos que poseemos, es posible distinguir cuatro grupos genéticamente diferentes de superficies en el nordeste de oriente, pero solo los dos primeros grupos concentran los principales yacimientos niquelíferos de la región, por tanto, solo los consideraremos a continuación .

Primer Grupo

En el sistema orográfico Nipe Baracoa son características las montañas de cimas aplanadas, mesetas o plateaus, elevadas a diferentes alturas, entre 500 y cerca de 1 000 m. Los Mulos, Cupeyal, Piloto, Iberia y Buenavista. Nosotros suponemos que estas superficies que coronan las montañas actuales del Grupo Nipe-Cristal-Baracoa son partes de una única superficie de nivelación antigua (fig. 3). La edad de esta antigua superficie puede situarse en el mioceno inferior como límite más antiguo sobre la base de la edad de los sedimentos carbonatados de esta edad que yacen con inclinación transgresivamente sobre las rocas ultrabásicas.

S. Massip, 1942, considero un nivel general de peniplanación para Cuba, el cual relacionó al final del mioceno medio. A esta época asumió la formación de la superficie de El Yunque con una altura de 600m s.n.m. Kartashov, 1972 esta también de acuerdo en que la formación del



peniplano cubano ocurrió en el mioceno, pero no excluye la posibilidad de que su formación estuviera relacionada con procesos abrasivos y no denudativos como consideran la mayoría de los autores. El relaciona la formación de las cortezas de intemperismo con el mioceno – cuaternario perdiendo de vista en su razonamiento de que en las condiciones de situación de esta superficie única cerca del nivel del mar es difícil explicar el desarrollo de los procesos de formación de las cortezas de intemperismo.

Según nuestra opinión, la formación intensa de las cortezas de intemperismo comenzó solamente después que la superficie del mioceno fue elevada como resultado de movimientos neotectónicos de bloques.

Estos bloques en los cuales se fracciona la antigua superficie única quedan fijados por los cursos antecedentes de los ríos Mayarí, Levisa, Sagua, Moa y otros, cuyos cursos siguen zonas de debilidad tectónica de dirección meridional en algunos de ellos los arroyos afluentes tienen también un origen tectónico asociado a las fallas secundarias de tipo plumaje, como en el caso del río Levisa y sus afluentes.

Los movimientos tectónicos de levantamiento comenzaron según la opinión de la mayoría de los investigadores en el plioceno y se extendieron en el transcurso de todo el pleistoceno donde se destacan no menos de 4 etapas de grandes levantamientos. Algunos investigadores señalan la existencia de hasta 7 etapas (Lilienberg, 1972). Este levantamiento general en bloques tiene una apreciable combadura hacia sus extremos, de esta manera las elevaciones extremas tienen una altura de entre 500 y 600 m (Pinares de Mayarí, Buenavista) mientras que hacia el centro se registran las mayores elevaciones 900-1 000 (Piloto, Cupeyal).

De esta manera, se puede afirmar que las cortezas de intemperismo que se desarrollan sobre las superficies en forma de meseta que coronan las montañas del sistema orográfico de Nipe-Baracoa no son mas antiguas que el plioceno. Con esas superficies están vinculados importantes yacimientos industriales de níquel, como Pinares de Mayarí, amen de otras áreas con potentes cortezas de intemperismo como Los Mulos, Cupeyal, Piloto, Iberia y Buenavista. Esos yacimientos se caracterizan por poseer perfiles abreviados y contener menas oxidadas de níquel.

Segundo Grupo

Los levantamientos del pleistoceno-holoceno se fijan muy bien en la región mas oriental por la presencia de terrazas de abrasion marina descritas detalladamente en la zona de Punta de Maisí por J. Isaac del Corral (J.I. del Corral, 1944) y que fueron estudiadas posteriormente por numerosos investigadores Furrazola y Judoley, 1984, Nuñez Jiménez, 1962; etc.

En la región de Moa se desarrollan una serie de superficies escalonadas sobre las que se desarrollan ampliamente las cortezas de intemperismo níquelíferas y a las cuales, nosotros le asignamos una génesis abrasiva correlacionándolas con las terrazas de Maisí.

La génesis abrasional de estas superficies escalonadas se demuestra por los siguientes hechos:

1. Su distribución a lo largo de la costa y su coincidencia con los contornos actuales de esta.
2. Su presencia solamente en las laderas de los macizos adyacentes al océano y su ausencia en las laderas opuestas.
3. El paso gradual de los niveles mas bajos hacia la plataforma marina.



4. Las superficies frecuentemente cortan los sedimentos del eoceno, oligoceno y mioceno caracterizados faunísticamente que bordean los macizos ultrabásicos, como se observa en la región de Yamanigüey y por esto son indudablemente mas jóvenes que las formaciones indicadas.
5. La coincidencia de las cotas absolutas de estos niveles con las cotas de las terrazas del pleistoceno-holocénicas marinas de la región de Punta de Maisí descritas por José Isaac del Corral (1944).
6. La estrecha relación entre las terrazas marinas y aluviales también permiten datar la edad de las terrazas marinas como cuaternarias. Como demostró Lilienberg, 1972, la edad de las terrazas marinas y fluviales de Cuba, varían desde el pleistoceno inferior al holoceno.

En la región de Moa distinguimos 8 niveles de terrazas marinas que son:

1. De 3-10 m Yacimiento de playa La Vaca, parte inferior de la región Cupey Quesigua.
2. De 10-30 m la mayor parte de la región Cupey-Quesigua y las zonas inferiores de punta gorda.
3. De 30-60 m Yacimiento Punta gorda.
4. De 60-100 m Yagrumaje, parte inferior de Moa.
5. De 100-200m Yacimiento Moa.
6. De 200-300 m parte Superior de Moa, Camarioca norte, Cantarana.
7. De 300-400 m Atlántico y la parte superior de Cantarana.
8. De 400-600 m Camarioca Sur.

En los intervalos indicados se observan pequeñas variaciones de las cotas, debido a que los taludes de las terrazas están poco marcados y las superficies en general presentan una ligera inclinación general al norte, esto es consecuencia de la naturaleza friable de los productos de intemperismo desarrollados sobre las terrazas originales, por lo que la cantidad general de terrazas puede alcanzar hasta 13 y mas. Esto concuerda totalmente con los datos de Lilienberg para las terrazas marinas de Cuba, también con los datos de Corral, 1944; y Nuñez Jiménez, 1962 .

Particularmente resultan interesantes los resultados de Dodge R. E. de datación absoluta de varios niveles de terrazas de la península noroccidental de Haití los cuales en general coinciden con las apreciaciones sobre la edad de las terrazas cubanas.

En correspondencia con la opinión de la mayoría de los investigadores sobre la edad pleistoceno inferior-holoceno de las terrazas marinas de Cuba, es posible datar relativamente las cortezas de intemperismo niquelíferos desarrollados en la región de Moa y que incluyen los yacimientos de playa La Vaca, Cupey, Quesigua, Punta Gorda, Moa, Atlántico, Las Camariocas, Cantarana y otros. Estos yacimientos poseen generalmente perfiles abreviados, a veces completos con predominancia de las menas oxidadas.

La región metalogénica exógena de Camaguey central por su parte, tuvo un desarrollo mucho mas limitado y complejo estando representada principalmente por el yacimiento laterítico de níquel de San Felipe situado en la meseta del mismo nombre.

Del análisis morfoestructural de la meseta de San Felipe se observa que la meseta tiene una orientación general de dirección general NW-SE, es decir, dirección "cubana" paralela a la dirección estructural de la falla Cubitas de la que la separa un valle de tipo graben de mantos de sobrecojamiento, siendo San Felipe un típico horst simple en zonas asociadas a los mantos de sobrecojamiento. El origen de la morfoestructura de San Felipe se asocia, a la probable existencia de una antigua corteza de intemperismo que se desarrolló en toda el área del actual



peniplano de Camagüey. En el lugar de la actual meseta de San Felipe, aquella corteza de intemperismo se profundizaba formando una corteza de intemperismo de tipo bolsón gracias a la existencia de zonas de debilidad tectónica que favorecían la circulación de las aguas subterráneas y con ello la más efectiva consecución de los procesos de intemperismo químico. En estas condiciones, las aguas sobresaturadas en sílice y magnesio que tenían una lenta circulación y una lenta extracción del sistema, precipitaban la sílice y el magnesio rellenoando fundamentalmente las grietas prototectónicas y las zonas de fallas de las ultrabasitas.

Posteriormente, esta corteza fué lavada y sus productos friables arrastrados y probablemente redepositados en las concavidades cársticas del sistema carbonatado que se desarrolla al norte de la falla Cubitas.

En el lugar de San Felipe, sin embargo, las raíces silíceas de esa corteza permanecieron y sirvieron de barrera a los ulteriores procesos de erosión regional que ocurrieron resultando en una inversión del relieve que fué favorecida también muy probablemente por movimientos de basculación neotectónica ocurridos a través del sistema de fallas de dirección "cubana" las cuales fueron originalmente fallas de sobrecojimiento, pero se comportaron durante los procesos de rejuvenecimiento neotectónicos esencialmente como fallas verticales.

Esta combinación de procesos tectónicos y de intemperismo dió lugar a la constitución de San Felipe que se define como una meseta de tipo horst en una zona de antiguos sobrecojimientos con una interesante morfología que se caracteriza por laderas abruptas al este, oeste y sureste y una ladera que se desarrolla al noroeste y que desciende de forma muy suave hasta alcanzar el nivel del peniplano general dándole a la meseta en realidad un forma en perfil de una cuesta extendida en dirección NW cuyos bordes este y oeste son abruptos y siguen un alineamiento de origen con toda probabilidad tectónico.

El límite oeste coincide sin dudas con la falla de sobrecojimiento que limita el terreno de corteza oceánica del terreno de arco de islas volcánico el cual cabalga a las ultrabasitas con un ángulo suave que no sobrepasa los 30°, el límite este bien pudiera ser otro antiguo manto interior de bajo ángulo dentro del terreno de corteza oceánica; ambas fallas fueron rejuvenecidas durante la etapa neotectónica de estilo tectónico germánico. El límite sur, sin embargo parece coincidir con una falla normal de dirección NE de origen puramente neotectónico.

La acción combinada de los procesos exógenos y tectónicos determinaron la evolución de la meseta de San Felipe y consecuentemente las características del perfil de la actual corteza de intemperismo de las rocas ultrabásicas que allí se desarrolla, el cual, consiste en un perfil de menas esencialmente silicatadas (nontroníticas) generalmente completo, pero a veces complejo.

Otra característica notable derivada de los complejos procesos que rigieron el origen y evolución de San Felipe es la amplia distribución de sílice libre a lo largo y ancho de la meseta y a profundidad.

Aparentemente parece no haber regularidad en la distribución espacial de la sílice libre, sin embargo, si prestamos un poco de atención vemos que pueden establecerse algunas regularidades sobre la base del examen tanto de afloramientos naturales como de la información obtenida de pozos de perforación.



La mayor concentración de sílice libre ocurre hacia los bordes de la meseta, pero además, se ha observado también una importante concentración de sílice libre en el centro geográfico de la meseta

A profundidad, a lo largo del perfil se observan también algunas regularidades en su distribución y forma.

Por una parte, la sílice libre a lo largo del perfil se acumula preferentemente en los horizontes superiores de los ocreos no texturales y en los horizontes inferiores de las serpentinitas nontronitizadas y lixiviadas y en las serpentinitas desintegradas, y por la otra, sus formas en las partes superiores del perfil se representan por fragmentos de diferentes tamaños y grados de rodamiento sueltos o aglomerados con pisolitos de hierro o sílice colomorfa y en los horizontes inferiores predomina la sílice libre relleno de las grietas prototectónicas de las ultrabasitas, las grietas de la red reticular de la textura de las serpentinitas y otras zonas de debilidad tectónica como zonas de cizalla por ejemplo.

El análisis de todas estas regularidades observadas permite distinguir en San Felipe tres fases de silicificación claramente distribuidas espacio-temporalmente.

1. Una primera y más antigua fase de silicificación relacionada con la antigua corteza de intemperismo de tipo bolsón, en la cual el régimen maduro de lenta transferencia de aguas posibilitó la precipitación de la sílice en solución hacia las partes inferiores del perfil de la CI relleno de las zonas de fallas y de grietas prototectónicas de las serpentinitas. Esta sílice libre se conservó durante los procesos posteriores de erosión regional como testigo raíces de esta antigua corteza de intemperismo y contribuyó a la modelación del relieve positivo que resultó, al actuar esta sílice como barrera protectora a esos procesos de erosión.
2. La creación de un nuevo relieve positivo a partir del lavado y erosión de la antigua corteza de tipo bolsón creó nuevas condiciones de transferencia de las aguas las cuales a pesar de continuar siendo lentas debido a la existencia de las barreras silíceas que formaron un relieve positivo pero ondulado y a la continua poca diferencia de nivel entre las zonas de alimentación de las aguas y las zonas de descarga, tenía salida hacia los bordes de la meseta donde la sílice contenida en solución en las aguas sobre saturadas nuevamente precipitaba, pero ahora hacia los bordes de la meseta creando una nueva barrera perimetral de sílice que contribuyó a dificultar aún más la transferencia de las aguas, y a crear las condiciones para la formación de una nueva corteza de intemperismo de tipo bolsón.
3. Finalmente, durante el desarrollo de la actual corteza de intemperismo de tipo bolsón favorecida por la formación de la barrera silícea perimetral, nuevamente la circulación de las aguas subterráneas que han continuado siendo de lenta transferencia con compartimentación espacial en pequeños bolsones limitados por barreras de sílice antigua distribuidas según el sistema de agrietamiento prototectónico de las ultrabasitas, crearon condiciones para la precipitación de sílice en las partes centrales del depósito lo cual se evidencia en el número concentrado y elevado de pozos con sílice que allí se concentran. Esta sílice a diferencia de la sílice antigua de la primera fase de intemperismo se acumula preferentemente ahora en la masa de las limonitas, frecuentemente en forma de marshalita.



Resumiendo, se puede afirmar que la sílice libre en San Felipe se acumula en tres diferentes fases claramente distribuidas espacio-temporalmente a saber:

1. Fase antigua distribuida preferentemente en las **partes inferiores del perfil rellenando zonas de falla y grietas tectónicas de las serpentinitas**, eventualmente también en forma de bloques o fragmentos caóticamente distribuidos en la masa de la corteza actual.
2. Fase media distribuida preferentemente hacia **la periferia de la meseta en forma de masas y bloques de silcreta y silfericreta** creando una barrera perimetral silicea en San Felipe.
3. Fase reciente distribuida hacia las **partes centrales de la meseta y acumulada preferentemente en los horizontes superiores limoníticos de la corteza**.

Si se observa en general el comportamiento de la curva de distribución de la sílice libre en las diferentes litologías se ve que hay una tendencia general hacia la disminución de la misma por el perfil hacia abajo, (ver fig.1), por otra parte, la sílice química muestra una tendencia general al aumento por el perfil hacia abajo, manteniendo contenidos promedios entre las litologías 3 hasta la 81 de entre 40 y 50%.

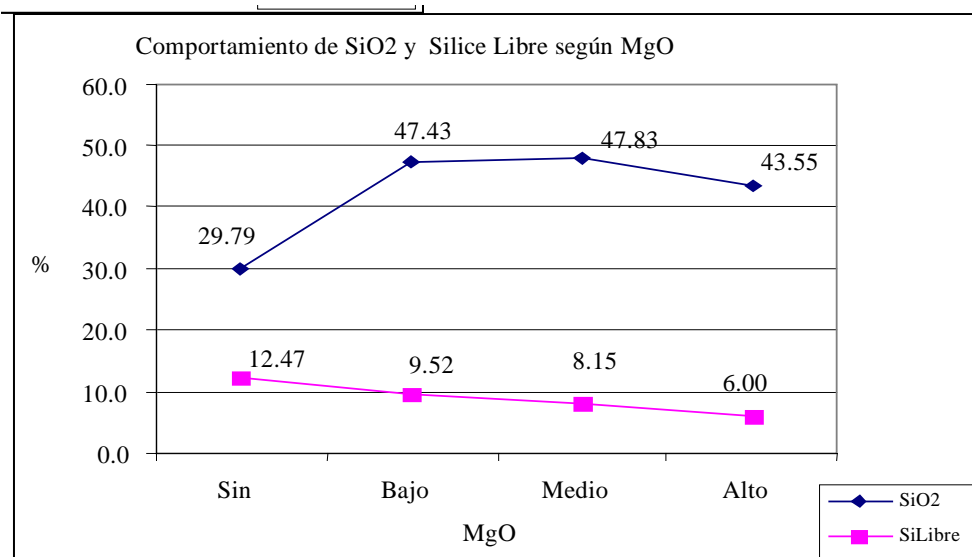


Fig 1. Comportamiento de la sílice química y la sílice libre según el MgO

Si se observa con detalle la curva de distribución de la sílice libre a lo largo del perfil de la CI, a pesar de la omnipresencia manifiesta de la sílice libre se notan tres zonas donde la sílice libre se acumula preferentemente. Estos datos además están en completa concordancia con las observaciones de campo.

De arriba hacia abajo se notan las siguientes zonas:

1. Zona superior (entre las litologías 1, 2 y 3).

Sílice libre en los ocre, en forma de fragmentos (generalmente redondeados) y bloques de dimensiones muy variables entre pocos centímetros hasta varios metros. Esta sílice se encuentra tanto en bloques y fragmentos independientes como asociada a los bloques de canga donde participa en variadas proporciones. Mineralógicamente son fundamentalmente ópalos de muy diversos colores, generalmente amarillo parduzcos, también rojizos,



verdosos con tonalidades negruzcas en forma dendrítica (por el manganeso), más raramente blanquecinos.

Subordinadamente participa también la sílice libre pulverulenta (marshalita), la cual aparece en bandas como seudo estratificaciones en la masa de los ocreos no texturales. La marshalita es un fino polvo de sílice de color blancuzco-amarillento. En esta zona los contenidos reportados de sílice libre en los pozos varían entre 20-30%. La relación geoquímica con la sílice química es inversa.

2. Zona media. (entre las litologías 4, 5, 6, y 7).

Sílice libre en la masa de las arcillas, en forma de fragmentos (generalmente angulosos) de tamaño generalmente pequeño, de unos pocos centímetros, muy raramente en fragmentos que exceden los 10 cm de diámetro. Son esencialmente ópalos de colores fundamentalmente verde-amarillento con tonalidades negruzcas debido a las impurezas de manganeso. En esta zona los contenidos promedio de sílice libre son de entre 10-20% y las relaciones geoquímicas con la sílice química son completamente armónicas, con curvas de forma muy parecida, que exhiben una loma entre las litologías 5 y 6, lo que atestigua que nos encontramos en la zona con predominio de los silicatos arcillosos.

3. Zona inferior. (comprende todas las litologías 8).

Sílice libre en el basamento rocoso. Aquí los contenidos de sílice libre son inferiores a los de las zonas anteriores y la misma se presenta usualmente como finas vetillas rellenando las grietas prototectónicas de las ultramafitas serpentinizadas (boxwork).

Son esencialmente ópalos de colores blancuzcos, verdosos, raramente rojizos; también se observa la formación de calcedonias que sustituyen pseudomórficamente los minerales de la serpentina. Estas calcedonias afloran en algunos lugares en la parte más al noroeste de la meseta donde la erosión expone frecuentemente el lecho rocoso de la CI.

Los contenidos promedio de la sílice libre en esta zona son los más bajos y oscilan entre 0-10%. Geoquímicamente, las relaciones aquí entre la sílice libre y la sílice química son, al igual que en la zona superior recíprocamente inversas, pero a diferencia con aquella, aquí los valores de la sílice química aumentan mientras que la sílice libre disminuye continuamente.

Conclusiones

Como se desprende de la discusión sostenida, se ha demostrado que las diferencias en la evolución morfoestructural entre las regiones metalogénicas exógenas de Oriente septentrional y Camaguey central han determinado diferencias sustanciales en la composición menífera (Fig2) y potencia de los perfiles de las cortezas de intemperismo níquelíferas que se desarrollan en ambas regiones, así mismo se han caracterizado los tipos de sílice libre y su distribución areal y en el perfil en las cortezas de intemperismo de San Felipe.

Dada la importancia que para una mejor comprensión de la geología del yacimiento San Felipe y por tanto para una más racional organización y planeamiento de su explotación tiene el desciframiento de las regularidades en la distribución espacial de la sílice libre en el mismo, las regularidades descritas representan una modesta contribución del autor a tales propósitos

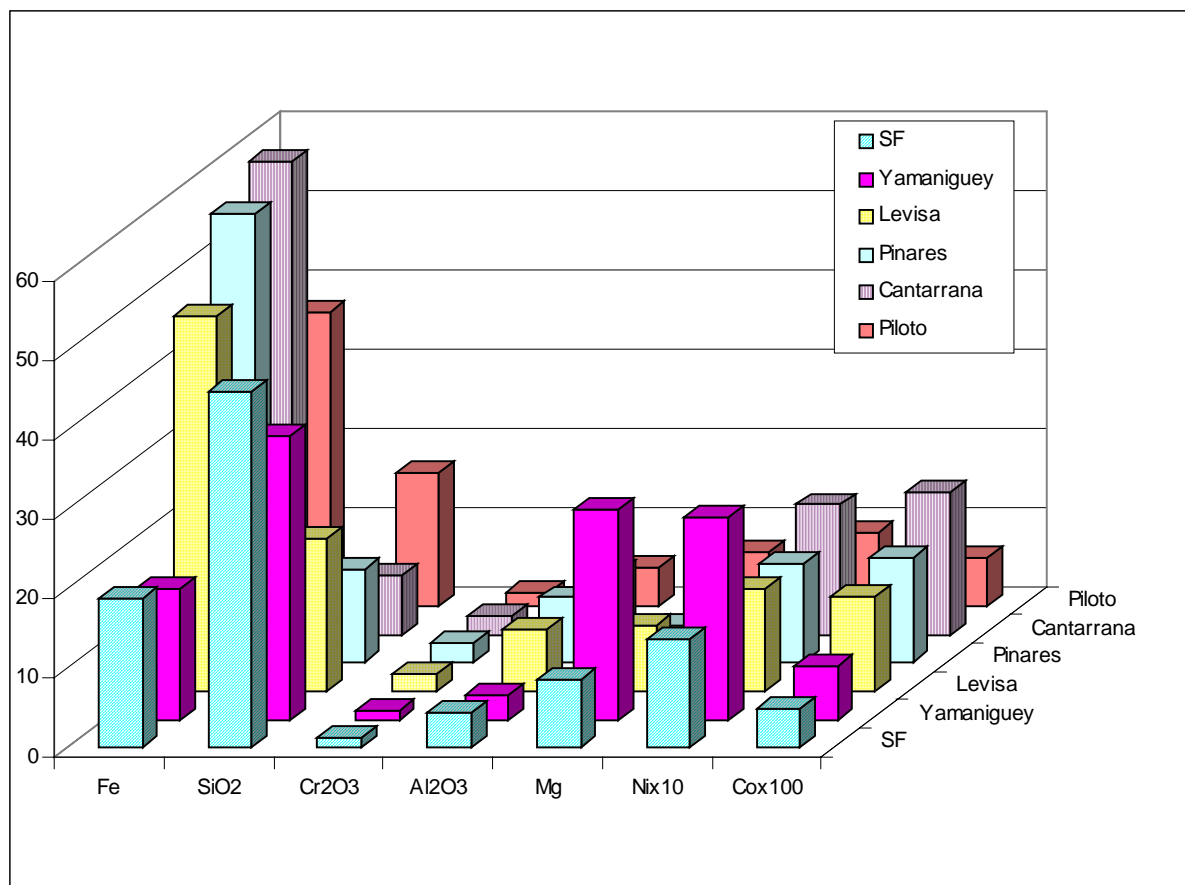


Fig2. Composición química de yacimientos de Ni laterítico típicos de Cuba

Bibliografía

- Buguel'skiy, Y. Y.; F. Formell Cortina, 1974: Sobre la velocidad de los procesos de intemperismo de las ultrabasitas en las condiciones climáticas de los trópicos. "Cortezas de intemperismo No 14." Moscú: Nauka.
- Corral J. I., del 1944. Terrazas pleistocénicas cubanas. *Ev. Soc. Cub. Ing.* 40: 5-44, La Habana.
- Dodge, R. E. 1982: Niveles del mar pleistocénicos a partir de arrecifes levantados de Haití. *Nova Univ. Oceanographic Center, Sooo . Ocean Dr., Dania, FL 99004, USA.*
- Formell Cortina F. 1998 Geología del yacimiento de San Felipe. Informe inédito
- Furrazola Bermúdez G., K. Judoley y otros 1964: Geología de Cuba. *Editorial Nacional de Cuba.* La Habana.
- Kartashov, I. P. (1972): Algunos resultados del estudio de los depósitos continentales del Cuaternario de Cuba Oriental. *Acad. De Ciencias de Cuba. Ser. Geol. No 9.* La Habana.
- Lilienberg, D. A. (1972): Principales regularidades del relieve y morfogénesis tropical de Cuba. Discurso en la reunión de la Comisión de Geomorfología de la Sociedad Geografía de la URSS.
- Massip, S. E Isalgue, S. (1942): Introducción a la Geografía de Cuba. La Habana.
- Núñez Jiménez, A. (1962): Geografía de Cuba. La Habana.



LA METEORIZACION DE LA OFIOLITA DE CUBA ORIENTAL. MODELOS GEOLOGICOS Y TERMINOLOGIA CUBANA.

Dr. Waldo Lavaut

*Geominera de Oriente, Carretera Siboney, Km 2.5, Santiago de Cuba, Cuba. C. Elect.:
niquel@geom.stg.minbas.cu*

RESUMEN

Se presenta una generalización actualizada de los resultados los trabajos geológicos realizados en los últimos 15 años en las ofiolitas y lateritas de los macizos Sierra de Nipe y Moa-Baracoa en el estilo de la escuela cubana, cuyos datos se contrastan con otras regiones del mundo, elaborando nuevas concepciones sobre la clasificación de las cortezas de intemperismo, las tendencias petroquímica de los procesos de intemperismo, los modelos descriptivos geológicos de los yacimientos, las particularidades del léxico terminológico cubano y su lugar en las concepciones modernas mundiales, así como la nueva información petrológica sobre estos macizos de rocas máficas y ultramáficas y las particularidades de su meteorización. Se muestra la dependencia entre el potencial económico de los yacimientos y los factores geológicos mencionados, así como su importancia para el uso racional de las lateritas y la protección del medio ambiente.

Se delimitan tres modelos descriptivos de yacimientos de intemperismo: "lateríticos", "laterítico-saprolíticos" y "sedimentarios litorales", que son valederos para Cuba y para otros países, y que se conforman por primera vez, ya que hasta ahora era conocido un solo modelo publicado por Cox y Singer en 1986, lo que se logró sobre la base de la generalización de la información geológica de Cuba y otras regiones del mundo. Se muestran los trenes de evolución de la meteorización de las rocas ultramáficas, máficas y leucocrátidos ofiolíticos para las condiciones de Cuba Oriental, entre otros.

Los materiales geológicos mostrados representan una novedad y un aporte significativo a un tema de gran actualidad en la comunidad geológica internacional.

ABSTRACT

Generalised information about the geological works carried out during the last 15 years in ophiolites and their regoliths of the NE of Cuba within the Sierra de Nipe and Moa-Baracoa massifs using Cuban terminology and are exposed in comparison with other regions of the World. New conceptions of the classification of the crusts of waste, the petrochemical trends of the weathering processes, the descriptive models of lateritic Cuban ore deposits, the lexical particularities used in Cuba by geologists and its position into modern world conceptions are treated. New petrological information about Cuban eastern ophiolite is offered. The dependance between economic potential of ore deposits and the characteristics of the ophiolite rocks is demonstrated as well as its importance for rational use of laterites and protection of ambiental conditions.

Introducción

En los últimos 15 años se ha logrado un significativo avance en el conocimiento de las lateritas cubanas y en el desarrollo de la tecnología que se aplica en su prospección geológica y procesamiento industrial. También se han alcanzado resultados importantes en el conocimiento y mapeo de la ofiolita cubana en lo que han tenido participación algunas instituciones investigativas, científicas y docentes importantes del país y extranjeras: EGMO, IGP, ISMM de Moa (Cuba), Universidad de Granada (España), Universidad de Barcelona (España),



Universidad de Washington (E.E. U. U.), Universidad de Hong Kong (China), Universidad de Stanford (California, E.E.U.U.).

Los resultados del estudio de ofiolita han contribuido a un mejor conocimiento de las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre ellas. Se han realizado significativos esfuerzos por mejorar los modelos geológicos de los yacimientos y depósitos de mineral laterítico con una mayor cartografía de las rocas máficas y ultramáficas ofiolíticas meteorizadas, lo que a su vez repercute en la eficiencia de la minería y del procesamiento industrial del mineral. En este respecto, esta labor se ha propiciado por la posibilidad de utilizar la información obtenida por redes detalladas de perforación y muestreo, tales como las redes de 8.3x8.3m, 12.5x12.5m, 16.6x16.6m, 23.5x23.5m, 25x25m, 30x30m, 33.3x33.3m, aunque aún alrededor del 75% del área con desarrollo de cortezas lateríticas permanecen evaluadas por redes bastante amplias (100x100m y 300x300m), lo que dificulta la captación de detalles de la estructura de la ofiolita en su variante meteorizada.

Los principales problemas radican hasta ahora en la correlación espacial entre los diferentes macizos con la reconstrucción de los distintos niveles de la ofiolita, así como lograr mayor claridad sobre el ambiente geodinámico de formación por macizo de las ofiolitas cubanas, en lo que se han presentado varios modelos diferentes que tratan los ambientes de trasarco, suprasubducción y rift oceánico. Se reporta también su génesis a través del magmatismo toleítico y boninitico. Existe un mejor acuerdo en cuanto a la edad geológica de su emplazamiento tectónico.

En relación con las cortezas de intemperismo de las rocas ofiolíticas de Cuba Nororiental, se requiere de la unificación de los criterios sobre la clasificación de las categorías de reservas y recursos minerales, así como de una redistribución más racional de los yacimientos de acuerdo a su modelo geológico entre las plantas de procesamiento existentes en el país para lograr un aprovechamiento más racional. En el orden terminológico, se requiere de un consenso mundial para la unificación de la terminología litológica que se emplea en los distintos ámbitos para el tratamiento de las cortezas de intemperismo de las rocas máficas y ultramáficas y que dicha clasificación sea registrada por el órgano lexicológico oficial internacional (I.U.G.S.), para lo cual se requiere de la realización de un taller o conferencia internacional con recorridos de campo.

El presente trabajo se limitará a exponer la experiencia cubana y los resultados obtenidos en la evaluación de las ofiolitas y lateritas de Cuba Nororiental, donde se enclavan las principales riquezas de Ni y Co lateríticos del país.

Materiales y métodos

El presente trabajo se basa en el procesamiento, comparación y generalización de la información obtenida durante los trabajos de prospección geológica, así como proveniente de reconocimientos geológicos magistrales realizados sobre afloramientos claves ubicados en el área de los macizos ofiolíticos y del análisis y de la generalización de la información de fondo y publicada.

Para ello, se utilizó la base de datos disponible en la EGMO sobre los principales yacimientos lateríticos del país: Pinares de Mayarí, Levisa, Moa Oriental, Punta Gorda, Las Camariocas, Piloto, La Delta, Cantarana y Yagrumaje (Sectores Sur y Oeste), por lo que se procesó geológica y geoquímicamente los datos de litología y quimismo de más de 26 943 pozos con 298 461 muestras básicas de Fe, Ni, Co.



Se realizó el cálculo de reservas para una condición fija de Ni=0.9% para el material saprolítico y laterítico de la corteza de intemperismo. Por las condiciones de Fe y Ni de los siete tipos tecnológicos tradicionales de menas FF,LF,LB,SB,SF,SD y RE con cut off de Ni=0.9 %, para facilitar las comparaciones, y se realizó la correspondiente geometrización en isolíneas de los parámetros fundamentales (potencias, contenidos, pesos volumétricos) en los promedios de pozos y diagramación de dispersión de los tonelajes contra leyes (Fe,Ni,Co,peso volumétrico y volumen de escombros superior por bloque de explotación de 300x300m).

Además, se geometrizó arealmente los dominios litológicos de cada yacimiento, así como la distribución de las variedades de rocas que componen el substrato de la corteza de intemperismo, con el objetivo de resaltar la presencia y ubicación de rocas gabroideas, tanto frescas (basamento), como intemperizadas (en los depósitos friables), por la importancia que esto reviste para la minería y tratamiento geológico y tecnológico de los yacimientos, ya que los gabroides meteorizados son fuertes contaminantes del mineral que se va a procesar y muchas veces pasan inadvertidos, sobre todo cuando están fuertemente meteorizados, encubiertos por la vegetación o escaparon a la vista del geólogo por alguna otra causa. Con éste objetivo, se generalizó la información existente sobre las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas y gabroides, existentes en los mencionados yacimientos y de áreas aledañas.

Se realizó el estudio petrológico de las rocas del basamento de la corteza de intemperismo, utilizando en ello más de 334 descripciones petrográficas y 133 análisis químicos completos (silicatos), sistematizando y generalizando la información de los yacimientos de las regiones Mayari-Nicaró y Moa-Baracoa, desde este punto de vista. Se geometrizó y caracterizó la difusión de saprolitas en los yacimientos, ofreciendo el primer cálculo general de recursos y clasificando los yacimientos en distintos tipos según la relación laterita y saprolita.

Resultados y discusión

1. LA OFIOLITA DE LOS MACIZOS NIPE-CRISTAL Y MOA -BARACOA COMO SUBSTRATO DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO NIQUELÍFERA

Los macizos de Sierra de Nipe-Cristal y Moa-Baracoa constituyen la mayor parte del segmento oriental del cinturón ofiolítico cubano, siendo considerados porciones alóctonas de litósfera oceánica con una extensión de 170 km, un ancho de 10-12 km, cerca de 1000 m de espesor promedio y con una superficie total de 2 700 km² (5). Estos macizos fueron obducidos hasta la superficie durante la colapsación de la paleoestructura volcánica de Cuba, manteniendo una elevada base erosional en su mayor área durante un tiempo geológico prolongado: no menos de 80-85 millones de años, o sea, desde el Cenomaniano. El 30% de su superficie está cubierta eluvialmente por una corteza de intemperismo laterítica de 10 m de potencia promedio, desarrollada en terrenos amesetados y de suave pendiente (principalmente 5-15°), con cotas entre +50 hasta +900 m respecto al nivel del mar, prolongadamente (Maestrictiano-Paleoceno hasta el Reciente) (3). La edad del emplazamiento tectónico de estos macizos se considera entre el Cretácico Superior (Campaniano) y el Paleoceno Inferior, según las evidencias estratigráficas de los cabalgamientos asociados a las ofiolitas (6).

El macizo Nipe-Cristal está constituido principalmente por rocas del complejo tectonizado y, en menor grado, también del cumulativo máfico y de la zona de transición (impregnación) entre ambos. Algunos investigadores (4) reportan también la presencia del complejo de diques paralelos de diabasas, pero las relaciones de campo de estos diques indican su pertenencia a la parte superior transicional (zona de impregnación) del complejo tectonizado, ya que ampliamente cortan tardíamente a los cuerpos de harzburgita alternantes con dunita y a



cromitas de alto cromo incluidas en esta última, así también como a diques de piroxenitas (websterita) que cortan a las rocas ultramáficas y cromitas. No obstante, por su composición química estas mafitas son compatibles con diques paralelos. El grado de serpentización de las ultramafitas es generalmente mayor de 50% y cercano a 95-100% para las muestras de superficie, debido fundamentalmente a la hidratación meteórica, ya que se observa una tendencia a la disminución hasta 30-45% de la serpentización con el incremento de la profundidad. La presencia de los diques cortantes de piroxenita, abundantes inclusiones de pargasita, correlación negativa del patrón de tierras raras ligeras, el carácter eminentemente metalúrgico de las cromitas (cromitas de alto cromo), etc. indican una génesis de las rocas de este macizo ofiolítico a partir de fundidos boniniticos con altas tasas de fusión parcial y alto contenido de volátiles (fusión matélica hídrica) en condiciones mantuales relativamente calientes compatibles con el ambiente profundo de una zona de suprasubducción (5, 7).

Las principales rocas ultramáficas que constituyen al macizo Nipe-Cristal son las harzburgitas y en menor grado (20-30% de difusión) las dunitas, que forman cuerpos tabulares, lenticulares o esferoidales dentro de la masa harzburgítica, generandose en determinadas localidades frecuentes bandeamientos (alternancias dunito-harzburgíticas) con la separación de cuerpos relativamente potentes (15-60m) de dunita generalmente con cromitas en su interior (70% de probabilidad), lo que controla la distribución de depósitos y yacimientos cromíferos de este macizo. La propagación de rocas máficas es significativa en el macizo, aunque ellas predominan en la periferia del macizo. Las mafitas mas difundidas espacialmente son las diabasas y doleritas que muestran una variación centrípeta simétrica del tamaño del grano, con la granulometría gruesa hacia el centro que en ocasiones llega a formar tamaños pegmatoides pequeño y mediano de los piroxenos. La variación de la granulometría de las mafitas condiciona la generación de gabro-diabasas y microgabros, y minoritariamente de gabros. Se encuentran en este macizo también con menor difusión diferenciados que constituyen leucocrátidos ofiolíticos representados por dioritas cuárcicas y tonalita leucocrática (micromonzodioritas), en las localidades Pinalito y La Chivera, que cortan a las peridotitas formando diques.

El macizo Moa-Baracoa presenta un corte ofiolítico más completo, pero con una difusión muy restringida del complejo tectonizado (peridotítico) que se ha reconocido en el bloque de Monte Bueno con unos 40 Km² de extensión (2), aunque también se indica en localidades aisladas del macizo Moa-Baracoa, por ejemplo la región de El Toldo, Miraflores, etc. Las tectonitas se constituyen por harzburgitas y dunitas subordinadas con cuerpos de cromitas, y presentan una estructura protogranular con deformación del olivino y piroxenos; minoritariamente se asocian dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, piroxenitas y anfibolitas de bajo grado de metamorfismo del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Aunque se considera problemático la determinación de la posición del Moho petrográfico, las peridotitas del complejo cumulativo presentan ciclicidad o bandeamiento debido a la segregación de piroxenos (2), siendo las harzburgitas y wehrlitas las rocas más frecuentes, y ocasionalmente aparecen piroxenitas, lherzolitas, así como transiciones entre estas rocas. Los complejos de gabros forman cuerpos de 1 - 3 Km de ancho y 10-15 Km de longitud, cuya parte inferior se caracteriza por un significativo bandeamiento. Las principales rocas máficas establecidas son gabros olivínicos, gabronoritas, gabros, leuco y melanogabros, troctolitas, gabros pegmatíticos, anortositas y leucocrátidos ofiolíticos (dioritas, plagiogranito oceánico, albitita). El complejo de diques de diabasas no es característico en este macizo y se ha reportado en forma de bloques tectónicos incluidos en la parte superior de los niveles de gabros, estando representados por diques de diabasa, microgabro, dolerita y basalto. Las rocas ultramáficas con plagioclasa (dunita plagioclásica, harzburgita plagioclásica, lherzolita plagioclásica, wehrlita plagioclásica, troctolita, etc.) indican la presencia de la zona de transición, que en este macizo está bien manifestada. La génesis de las ofiolitas de este macizo se asocia a magmas tholeíticos generados por tasas



reducidas de fusión parcial afín con los basaltos de tipo MORB en mantos pocos profundos, o posiblemente de cuenca de back-arc influido por la percolación magmática proveniente de las partes profundas de una zona de subducción.

2. LA METEORIZACION DE LA OFIOLITA DE NIPE-CRISTAL Y MOA BARACOA. MODELOS GEOLOGICOS, CLASIFICACIONES Y TERMINOLOGIAS .

La meteorización de la ofiolita se determina por los factores climatológicos de intemperismo y las particularidades de las rocas madres que se intemperizan. Entre los aspectos claves podemos destacar:

- Posición del área en cuestión en el corte ofiolítico(complejo o nivel a que pertenece).
- Variedades de rocas máficas y ultramáficas que componen el substrato de la corteza de intemperismo y su ubicación espacial.
- Ubicación del fallamiento tectónico y su influencia en la distribución de los tipos de menas.
- Situación geomorfológica del área y su relación con las características hidrogeológicas y de formación de menas.
- Comportamiento areal y vertical geoquímico de los componentes químicos principales útiles y nocivos de las menas y su relación con los anteriormente mencionados factores geológicos.
- Zonalidad litológica de la corteza de intemperismo y su relación con el potencial menífero y distribución vertical de la minaralización.
- Tipos de perfiles de intemperismo que componen al yacimiento, su difusión areal y relación con los factores geomorfológicos, tectónicos, microclimáticos y petrológicos del basamento de rocas madres de la corteza de intemperismo.
- Paleogeografía de la región de ubicación del yacimiento y su relación con la génesis del yacimiento.

Durante la realización de esta investigación, se abarcó la mayoría de los factores relacionados, creando nuevas clasificaciones litológicas (Vea tabla No.I y II), que permiten zonificar las áreas y yacimientos en relación con su potencialidad menífera, conscientes de que el factor litológico es determinante en esto.



Tabla No.I. Estructura litológica de las cortezas de intemperismo de ultramafitas de Cuba Oriental (W.Lavaut, 1987).

Zonas Litológicas Genéticas	Litotipos cubanos	Léxico inglés	Tipos de Perfiles de Intemperismo ⁽²⁾
Zonas de deshidratación y globulación de hidróxidos de hierro	Ocre inestructural con concreciones ferruginosas (perdigón y coraza) (OICP) ⁽¹⁾	Ferricreta	Inestructural laterítico(goethítico-hematítico-gibbsítico)
Zona de ocretización completa	Ocre inestructural sin concreciones ferruginosas (OI)	Tierra roja (limonita)	Inestructural laterítico(goethítico-gibbsítico)
Idem	Ocre estructural final (OEF)	Saprolita fina (limonita)	Estructural incompleto laterítico(goethítico-gibbsítico)
Zona de ocretización parcial	Ocre estructural inicial o semiocre (OEI)	Saprolita blanda arcillosa	Estructural completo laterítico-saprolítico (goethítico-serpentínico)
Zona de lixiviación y ocretización inicial	Roca madre lixiviada y ligeramente ocretizada (RML)	Saprolita gruesa rocosa	Estructural incompleto saprolítico (serpentínico-arcilloso)
Zona de agrietamiento	Roca madre agrietada con mineralización zonal filoniana y masiva (RMA)	Roca madre	Estructural incompleto saprolítico (serpentínico querolítico)

(1) Entre paréntesis: las siglas de los litotipos (W. Lavaut, 1987), así como la terminología de la escuela inglesa (1).

(2) La clasificación de los perfiles es en dos tipos genéricos que son: perfiles inestructurales(compuestos sólo de ocres inestructurales) y perfiles estructurales(con la existencia de al menos una de las zonas estructurales). A su vez, los subdividimos en subtipos completos o incompletos, si falta alguna zona. Los perfiles estructurales completos tienen que: a)tener la zona de ocres estructurales finales, para los lateríticos; b)tener las zonas de ocres estructurales finales y ocres estructurales iniciales, para los laterítico-saprolíticos.



Tabla No. II

MODELACION LITOLOGICA DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO

COLUMNA		CLASIFICACION DEL PERFIL LITOLOGICO	
		PERFIL DE INTEMPERISMO	ZONAS LITOLOGICAS
1	* * OICP	L A T E R I T A	A) PERFILES LATERITICOS :
2	-V- OI		INESTRUCTURAL COMPLETO 1 y 2
	V		INESTRUCTURAL INCOMPLETO 1 ó 2
3	V OEF		ESTRUCTURAL COMPLETO 1, 2 y 3
	V		ESTRUCTURAL INCOMPLETO 1 ó 2 y 3
4	V @ V OEI		B) PERFILES LATERITICO-SAPROLITICOS :
	V	S A P R O L I T A	ESTRUCTURAL COMPLETO 1, 2, 3, 4 y 5
5	@ RML		ESTRUCTURAL INCOMPLETO 1 y/o 2 y/o 3 y 4 y/o 5
	V		C) PERFILES SAPROLITICOS:
6	V V RMA		ESTRUCTURAL COMPLETO 4 y 5
	V		ESTRUCTURAL INCOMPLETO 4 ó 5

La corteza de intemperismo laterítica, independientemente de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar, presenta una misma estructura litológica zonal: con una hasta seis zonas litológicas, donde se distinguen dos zonas inestructurales (globulada, terrosa) y cuatro estructurales (con relíctos de la estructura primaria de la roca madre, fragmentaria, polvosa), ubicadas inmediatamente por debajo de las primeras. Según la composición zonal, se establecen tres tipos litológicos de perfiles de intemperismo: inestructural (con uno o dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos); estructural incompleto (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos y un litotipo estructural limonítico gibsítico); y estructural completo (con dos litotipos inestructurales hematito-goethíticos gibsíticos, un litotipo estructural limonítico gibsítico y un litotipo estructural serpentínico- arcilloso limonítico) . Fluctuantemente, por debajo de cada perfil ocroso yacen las zonas litológicas de rocas madres lixiviadas y agrietadas, que completan el espesor total de alteración hipergénica de las rocas madres.

La composición zonal de la corteza de intemperismo arriba indicada, así como las condiciones genético-ambientales de formación de los depósitos de meorización, permiten establecer tres modelos geológicos básicos de depósitos minerales de intemperismo: tipo laterítico (propriadamente dicho, sin saprolitas); tipo laterítico-saprolítico (con laterita y saprolita); y tipo sedimentario litoral (producto de la erosión, acarreo, deposición y sedimentación del material de la corteza de intemperismo en un medio acuático marino o lagunar, por lo que este último constituye una formación sedimentaria (roca sedimentaria).



La presencia, difusión areal y potencia de los tipos litológicos de perfiles de intemperismo se controlan por la variación de la pendiente del terreno, el microclima, fisuración tectónica y el quimismo y mineralogía de las rocas madres ultramáficas (magnesialidad, ferrosidad-aluminosidad, cantidad y tipo de piroxeno y serpentinas), siendo más desfavorables los tipos menos serpentinizados, más antigoritizados y más piroxénicos, así como los terrenos con frecuentes pendientes entre 15 y 35°, y los ubicados en microclimas menos lluviosos (menor de 1500 mm/año). A tenor, la movilización geoquímica de la sílice y el magnesio para la maduración del perfil litológico de intemperismo va a seguir una tendencia de evolución particular y única en cada localidad: con retención, en los terrenos de poca pendiente (menor de 10°) y elevada humedad natural, por escaso desague o inundación y baja intensidad de la radiación solar (nubosidad, diferenciación climática vertical y estacional). Como consecuencia, se generan yacimientos lateríticos de diferente magnitud: con distinta potencia y contenidos de componentes útiles (Fe,Al,Ni,Mn,Co,Cr,Ti) y nocivos (Si,Mg,Al) en las menas, y con diferente relación mena / escombro.

El estudio integrado de los parámetros geometrizados mostró el relevante papel de los factores geomorfológicos, tectónicos regionales y locales, y de la diversidad de rocas madres en la distribución espacial de los dominios litológicos de los yacimientos y, por ende, de la regionalización tecnológica y del potencial menífero de los yacimientos, lo que es de gran utilidad para el establecimiento y localización de zonas homogéneas dentro de los yacimientos. En este respecto, se establecieron ocho tipos de perfiles de intemperismo de acuerdo a la estructura litológica del perfil y a la existencia de diferente zonalidad litológica en distintos puntos del yacimiento. La aplicación de este concepto a los yacimientos estudiados, reveló el carácter saprolítico del yacimiento Levisa, con un contenido promedio de Ni igual a 1.19 %, con Fe=13.81 % y potencia media de 2.56 m constituyendo el 41 % de sus reservas. En general, la existencia de saprolitas es bastante difundida en los yacimientos cubanos, aunque la de bajo contenido de hierro es de potencia relativamente pequeña (entre 1.5 y 3 m como promedio).

Se estableció y geometrizó la difusión de cortezas de intemperismo de gabroides en los campos meníferos de los yacimientos, estableciéndose una mayor difusión de estos fuertes contaminantes del mineral que la conocida. La difusión de los gabroides se presenta en forma de cadenas de manchas irregulares por su forma, manteniendo como regla, un estiramiento regional, concordante con las direcciones del sistema de fallas tectónicas regionales, principalmente en dirección NO-SE y NE-SO, lo que indica la relación de las fallas con los gabroides. Esto es un factor de primordial importancia para el buen minado de los yacimientos.

Se pudo comprobar la existencia de heterogeneidad geoquímica, condicionada por las diferencias microclimáticas, geomorfológicas y rocas madres, en yacimientos diferentes en yacimientos homólogos por el modelo geológico. Así, el yacimiento Pinares de Mayarí presenta mayor dispersión del contenido de Fe y Co en las menas que el yacimiento Moa Oriental, a pesar de pertenecer ambos al modelo laterítico de yacimientos de intemperismo. Los resultados obtenidos se ilustran con los materiales geológicos del yacimiento Punta Gorda.

Se establecieron cincuenta y una variedad petrográfica de rocas madres de la corteza de intemperismo, por lo que denota una gran diversidad. El principal portador de Ni y Co en las rocas madres es el olivino. Así, el contenido de NiO varía entre 0.32 y 0.50 % en los olivinos de las ultramafitas cubanas, mientras que en los piroxenos de estas mismas rocas el NiO fluctúa entre 0.02 y 0.12 %; en los gabroides, el contenido de NiO está entre 0.11 y 0.32 % en sus olivinos, mientras que en sus piroxenos el NiO varía entre 0.01 y 0.08 % (J. A. Proenza, micosonda de minerales, 1997). Es por esto, que algunas cortezas de gabroides olivínicos tienen tendencia a concentrar Ni, principalmente en forma de menas de tipo SB, como ocurre en



algunas áreas del yacimiento Yagrumaje y otros lugares. El resultado del estudio petrológico hecho se resume indica la posición de los yacimientos lateríticos cubanos en diferentes niveles del corte ofiolítico: desde Tectonitas (Pinares de Mayarí), pasando por la Zona Transicional (Levisa, Moa Oriental) hasta el nivel de los cúmulos ultramáficos y máficos (La Delta).

Conclusiones

La zonalidad litológica (perfiles) de la corteza de intemperismo de rocas ultramáficas en Cuba Oriental no es función de la altimetría del terreno respecto al nivel del mar, sino del gradiente de peniplanización (pendientes); composición química y mineral y grado de fisuración tectónica de las rocas madres; y del microclima de la localidad.

La tendencia de los procesos de intemperización de ultramafitas es única para cada localidad geomorfológica y microclimática (yacimiento), con marcadas disimilitudes aún dentro de una misma región, siendo las diferencias microclimáticas el factor más determinante.

La composición química y mineral de las zonas litológicas de la corteza de intemperismo de ultramafitas es función directa de la naturaleza petrológica de la roca madre (substrato) y de la tendencia de evolución del proceso de intemperismo (nivel de lixiviación del silicio y magnesio). La característica local se expresa en la proporción de tipos de perfiles de intemperismo desarrollados.

La migración geoquímica manifiesta dos estadios básicos: a) acumulación general inicial de elementos metálicos (Al, Ti, Fe, Cr, Ni, Co, V, Cu, Zn, Zr, Mn, Nb, Ga, Au, Pt, Pd) con lixiviación y acarreo de los álcalis (Na, K, Ca, Mg) y silicio; b) redistribución parcial vertical de elementos metálicos (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Mn, Co, Ni, Au, Pt, Pd) según las barreras geoquímicas (sorbsionales, cambios de pH).

El potencial económico de la corteza laterítica de ultramafitas es determinado por los factores geológicos señalados, en dependencia principalmente del proceso tecnológico de procesamiento de las menas y el mercado. En este respecto existen tres modelos geológicos básicos de depósitos minerales lateríticos: laterítico (propriadamente dicho, sin saprolitas), laterítico-saprolítico (con laterita y saprolita) y sedimentarios litorales producto de la erosión y sedimentación del material de la corteza de intemperismo en un medio acuático (marino o lagunar).

Referencias bibliográficas

- Golightly, J. P (1981). Nickeliferous laterite deposits. *Economic Geology*, 75th Anniversary volume, pp. 710-735. Canada.
- Gyarmati, P., J. Leyé, Zs. Peregi (1990). Informe final sobre los resultados del levantamiento geológico y búsquedas acompañantes en el polígono V. Guantánamo, 1987-90 (Inédito), 1069p.
- Lavaut W. (1998). Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental. *Minería y Geología* No. 15, pág. 9-16.
- Navarrete M., R. Rodríguez (1991). Generalización petrológica del corte ofiolítico de los yacimientos Pinares de Mayarí, Canadá y Luz Norte, macizo Mayarí-Nicaró. *Minería y Geología*, No. 8, p. 3-10.
- Proenza, J., J.C. Melgarejo, F. Gervilla, W. Lavaut, D. Revé, G. Rodríguez (1998). Cromititas podiformes en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba). *Acta Geológica Hispánica*, v. 33,



- Quintas F., M. Hernández, M. Campo (1994). Asociaciones estructuro-formacionales del Mesozoico en Cuba Oriental y la Española. *Minería y Geología*, No. 11, p. 3-9.
- Zhou M., J. Lewis, J. Malpas, N. Muñoz (2001). The Mayari-Baracoa paired ophiolite belt, Eastern Cuba: Implications for tectonic settings and mineralization. *International Geology Review*, vol. 43, 2001, p.494-507.



GENERALIZACIÓN DE TRABAJOS GEOFÍSICOS PARA LA PROSPECCIÓN DE SAPROLITAS EN YACIMIENTOS FERRONIQUELIFEROS

Jorge Acosta Breal, Maria Gentoiu.

Empresa Geominera de Oriente, Carretera Siboney, Km 2¹/₂ Santiago de Cuba. C. Eléct.: jacosta@geom.stg.minbas.cu

RESUMEN

La firma JCEI, contrató al grupo de Servicios Geofísicos de la EGMO, el estudio varias áreas del yacimiento Yamanigüey, donde trabajos anteriores no habían podido evaluar correctamente la potencia de la capa saprolítica y obtener otros datos geológicos necesarios para caracterizar esa mineralización. Las tareas a resolver por los métodos geofísicos fueron las siguientes:

- Determinar la potencia de la capa saprolítica.
- Detectar dentro de la capa saprolítica bloques de rocas silicificadas.
- Mapeo tectónico y litológico del basamento.

En este trabajo se demuestra como el complejo de métodos geofísicos diseñado pudo resolver eficientemente esos objetivos geológicos. Las investigaciones se basaron fundamentalmente en métodos eléctricos en las variantes de Sondeo Eléctrico de Polarizabilidad y Perfilaje Dipolo-dipolo y Magnetometría. Se presentan cortes de isoohmmas y de interpretación por varias de las líneas en que se desarrolló el estudio.

ABSTRACT

The signature JCEI, hired to the group of Geophysical Services of the EGMO, the study several areas of the location Yamanigüey, where previous works had not been able to evaluate the power of the layer saprolítica correctly and to obtain other necessary geologic data to characterize that mineralización. The tasks to solve for the geophysical methods were the following ones:

- To determine the power of the layer saprolítica.
- To detect inside the layer saprolítica blocks of rocks silicificadas.
- Tectonic Mapeo and litológico of the basement.

In this work it is demonstrated as the designed complex of geophysical methods it could solve those geologic objectives efficiently. The investigations were based fundamentally on electric methods in the variants of Electric Poll of Polarizabilidad and Perfilaje Dipolo-dipolo and Magnetometría. Isoohmmas courts are presented and of interpretation for several of the lines in that the study was developed.

Introducción

En la producción mundial de Níquel cada vez adquiere mayor importancia la explotación de las Saprolitas como mineral fuente para su obtención. En Cuba, empresas nacionales y de capital mixto tienen entre sus planes inmediatos prepararse tecnológicamente para iniciar la producción de níquel a partir de ese mineral, del que existen grandes reservas en el país.

Por primera en Cuba se diseña un complejo de métodos geofísicos para resolver esos objetivos, contribuyendo de manera efectiva y económica a la investigación del yacimiento. En



los trabajos se estudió en 200 puntos el corte geológico, determinando la potencia de la capa saprolítica, las zonas silicificadas, etc.

Las perspectivas de aplicación de esta metodología son amplísimas, por las enormes reservas no estudiadas de este mineral que existen en el país y el interés creciente de la industria del Níquel por su uso.

Los trabajos se ejecutaron, en dos sectores que habían sido sometidos a la explotación minera, por lo que en su casi totalidad ya no existía la corteza laterítica.

Materiales y métodos

En dos áreas del yacimiento Yamanigüey, el grupo de geofísica de la EGMO, realizó trabajos experimentales fundamentalmente dirigidos a delimitar el espesor de las litologías 4 y 5 (ocres estructurales iniciales y serpentinas desintegradas, respectivamente) además, aportar información que permita un mejor conocimiento de la influencia de la tectónica en el corte geológico, así como de la existencia de zonas silicificadas y otros aspectos de interés que reflejen la metodología utilizada. El complejo geofísico utilizado incluyó los siguientes métodos y variantes.

Polarización inducida

Variante SEV-PI. Se utilizó la configuración Shlumberger con espaciamiento entre los electrodos de corriente de hasta 150 metros (C1C2/2), en dependencia de las características del corte geoeléctrico, logrando mapear todo el perfil geológico hasta el basamento. El paso de medición fue de 16.66 metros en un perfil de cada área, con el objetivo de obtener un mayor detallamiento y en el resto de las líneas cada 33.33 m. En algunas ocasiones no se pudo mantener este espaciamiento entre mediciones por imposibilitarlo las condiciones topográficas.

Perfilaje eléctrico de PI. Se ejecuto en una línea por área, utilizando en cada ocasión una variante distinta, para probar sus posibilidades en esas condiciones geológicas. Las configuraciones de electrodos utilizadas fueron las conocidas como Dipolo-Dipolo (DPDP) y Polo-Dipolo. Se realizaron con una distancia entre los electrodos potenciales de 8 m e igual paso de medición; en la variante DPDP, la distancia entre los electrodos de corriente fue de 8 m. Las tomas a tierra y la resistencia de electrodos por lo general no fueron favorables, por lo que se hizo necesario humedecer los contactos y aumentar en ocasiones el numero de electrodos de corriente.

Magnetometría.

Se realizaron determinaciones del campo magnético total, con un paso de medición de 4m en todas las líneas, exceptuando un tramo sobre la línea 6683 N, atravesado por una línea de alto voltaje.

Para cada línea de medición se presentan seudo secciones de polarizabilidad y resistividad, resultados de los SEV-PI que incluyen el campo magnético en esa línea, además el perfil de interpretación geofísico. En las líneas L-7033 N y L-6683 N se muestran las seudo secciones de polarizabilidad y resistividad obtenidas de las variantes DPDP y PDP.

En cada una de las áreas se confecciona un mapa que muestra la profundidad a la que se halla el contacto saprolita-roca fresca, según los resultados de la interpretación geofísica.



Toda la información se procesó de forma computarizada. Los datos magnéticos se interpretaron utilizando el software Geosof, confeccionando el mapa de la reducción al polo y de la señal analítica.

En la confección de los perfiles de interpretación se utilizó el álbum de curvas SEV de Orellana E. y Mooney H., y un software (Resist) fundamentado en la teoría de Dar Zarrouk. Todos los materiales gráficos se confeccionaron utilizando el sistema SURFER.

Por problemas de espacio y tiempo trataremos en este trabajo solo los resultados del área nr. 1, teniendo en cuenta que estos son semejantes a los de la segunda zona investigada.

Resultados y discusión. Área 1.

En esta área se realizaron las mediciones por las líneas L-7000 N, L-7016 N y L-7033 N.

En la seudo sección de polarizabilidad por la línea L-7033 N, figura 1, se puede diferenciar dos capas delimitadas por una zona de gradiente y mínimos de polarizabilidad, que aproximadamente sigue la línea de color rojo en el perfil. La parte superior que se define por valores inferiores a 2.4 % esta constituida por los ocres inestructurales iniciales y por serpentinas desintegradas, siendo la causa de los bajos valores de polarizabilidad, la menor presencia de limonitas y la abundancia en esta parte del corte de hidrosilicatos y de minerales arcillosos.

La transición entre esta capa y la segunda constituida por el basamento, es por lo general abrupta con un fuerte gradiente, tendiendo la parte derecha de la curva de SEV-PI a aumentar rápidamente sus valores hasta hacerse asintótica, esto se manifiesta de igual forma tanto para la curva de polarizabilidad como para la resistividad y es característico que así ocurra en este tipo de perfil geológico. Esta situación es favorable, para poder establecer con bastante precisión el contacto entre ambas capas utilizando técnicas de interpretación usuales para este método.

En la seudo sección de resistividad se aprecia de igual modo que el contacto entre las saprolitas y el basamento se puede mapear por una zona de mínimos y de gradiente. Se observa además que en algunas partes del perfil la tendencia de las curvas es abruptamente interrumpida y se establecen valores anómalos, de resistividad más alta, que relacionamos con diques o relictos de rocas menos alteradas posiblemente silicificadas lo que les hizo más resistentes a los procesos del intemperismo, esto puede suceder entre los sondeos S-4 y S-6 y entre el S-16 y S-17. En este perfil se observan además otras discontinuidades geoeléctricas, que conjuntamente con la interpretación del campo magnético indican la existencia de una compleja tectónica en esta área.

En los seudo cortes de la variante de PI, DPDP, (figura 2) la polarizabilidad indica de forma cualitativa el contacto entre las saprolitas y el basamento también por una zona de gradiente intenso tendiendo los valores de polarizabilidad a aumentar rápidamente cuando mapean las rocas frescas. El seudo corte de resistividad describe con mayor detalle las variaciones físicas de las rocas en el corte, señalando, por valores anómalos altos, aquellas zonas donde estas conservan mayor dureza y posiblemente indique la presencia de silicificación en las mismas.

En el corte de interpretación, figura 3, se señala de acuerdo a los resultados alcanzados por la metodología aplicada el contacto entre las saprolitas y la roca fresca así como el esquema



tectónico en esta línea. En el perfil se sitúan además los pozos perforados que cortaron el basamento, algunos coinciden, aproximadamente, con puntos de SEV de PI y se puede establecer una comparación entre ambos métodos, como se muestra en la siguiente tabla.

Bloque	Pozo	XI	YI	Prof.- basam.	Sev Nº	XI	YI	Prof.- basam.	Difencia (metros)
7057	38	5783.7	7034.1	9.2	3	5783	7033	10.2	1.0
7058	31	5815.4	7033.1	7.8	5	5816	7033	5.7	0.7
7058	35	5849.9	7033.8	11.3	7	5850	7033	10.4	0.9
7059	35	5952.6	7033	8.0	12	5950	7033	8.9	0.9

Tabla Nr 1. Comparación entre los resultados de la Perforación y la Geofísica

En las otras dos líneas del área 1 las características son similares a las descritas en este perfil.

En la figura 4 se muestra una composición de mapas de contorno del techo del basamento por el área 1, en que se aprecia las variaciones en espesor de la capa saprolítica.

Conclusiones

Las investigaciones geofísicas desarrolladas en el yacimiento Yamanigüey mediante la utilización del PI en sus variantes de SEV-PI, DPDP, PDP y la Magnetometría arrojan los sgtes resultados:

- Se pueden mapear las fronteras entre las saprolitas y el basamento con una diferencia entre los resultados de la perforación y de la geofísica inferior a 1m como promedio. Estos resultados pueden ser mejorados si se densifica la red de mediciones a 8m.
- No fue posible en estos trabajos separar a las saprolitas de los ocreos estructurales finales. Pudo influir en estos resultados el ambiente geológico, completamente alterado por la acción del hombre, en que se desarrollaron los trabajos, donde las partes superiores del corte geológico fueron removidas.
- Consideramos que la metodología utilizada permite conocer las características tectónicas de los sectores estudiados y su influencia en el corte geológico.
- Se puede obtener información acerca de las zonas solidificadas presentes en el corte geológico, aunque para llegar a conclusiones definitivas se necesita mayor información geológica.
- En estos trabajos la variante más efectiva y que mayor información aportó fue el SEV-PI, conjuntamente con el estudio del campo magnético. No podemos descartar las otras variantes de PI utilizadas, que de forma cualitativa pueden brindar una información importante.

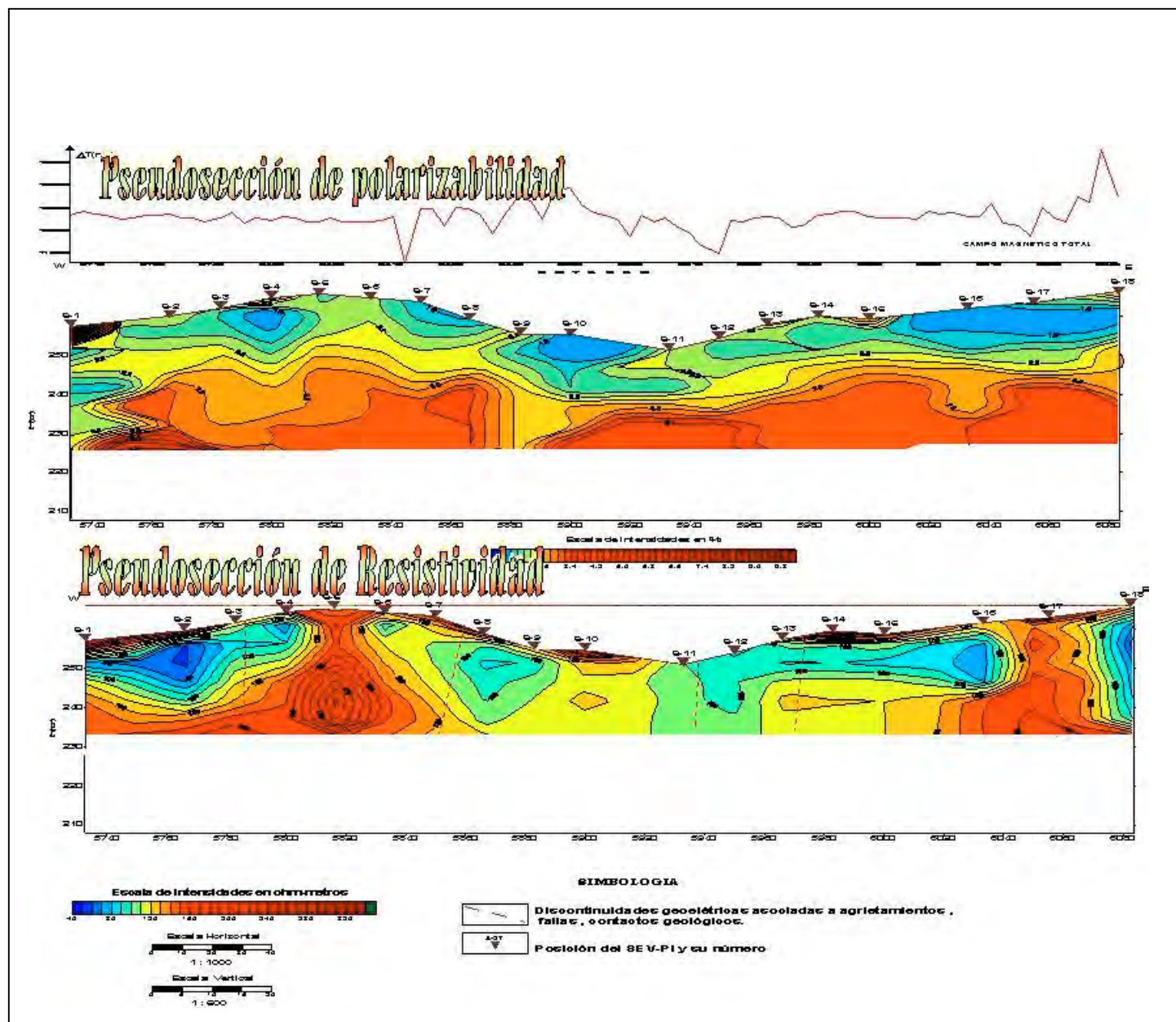
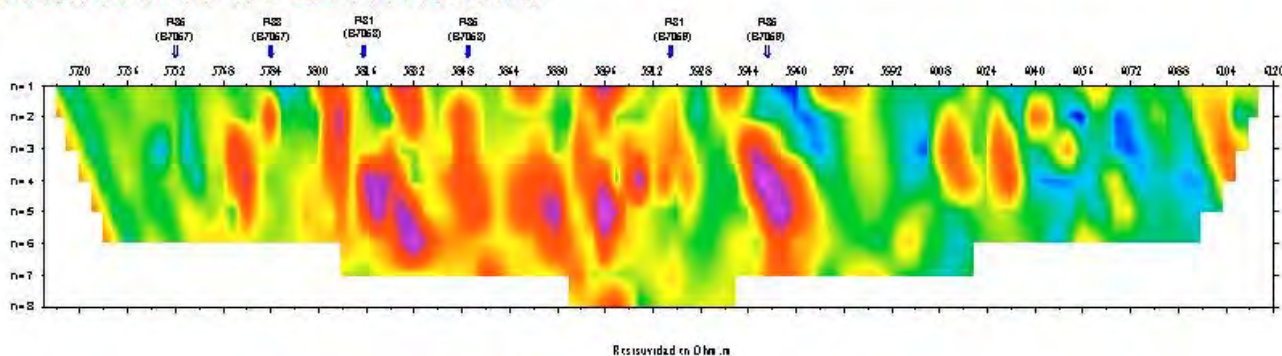


Figura 1. Pseudosección de Polarizabilidad y Resistividad por la Línea 7033.



Perfilaje Dipolo-Dipolo por la Línea 7033

Pseudocorte de Resistividad



Pseudocorte de Polarizabilidad

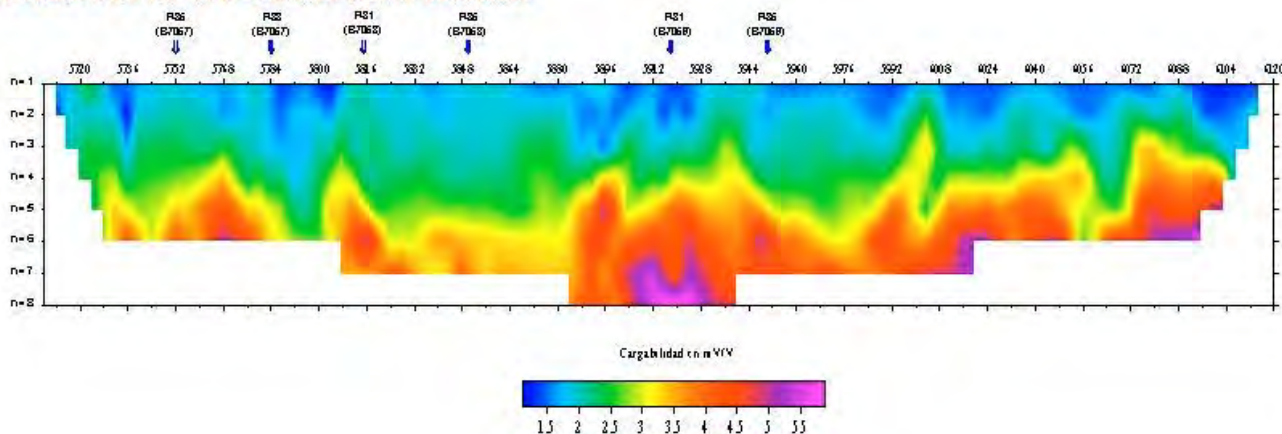


Figura n2. Pseudocorte de polarizabilidad y resistividad variante dipolo-dipolo por la línea 7033

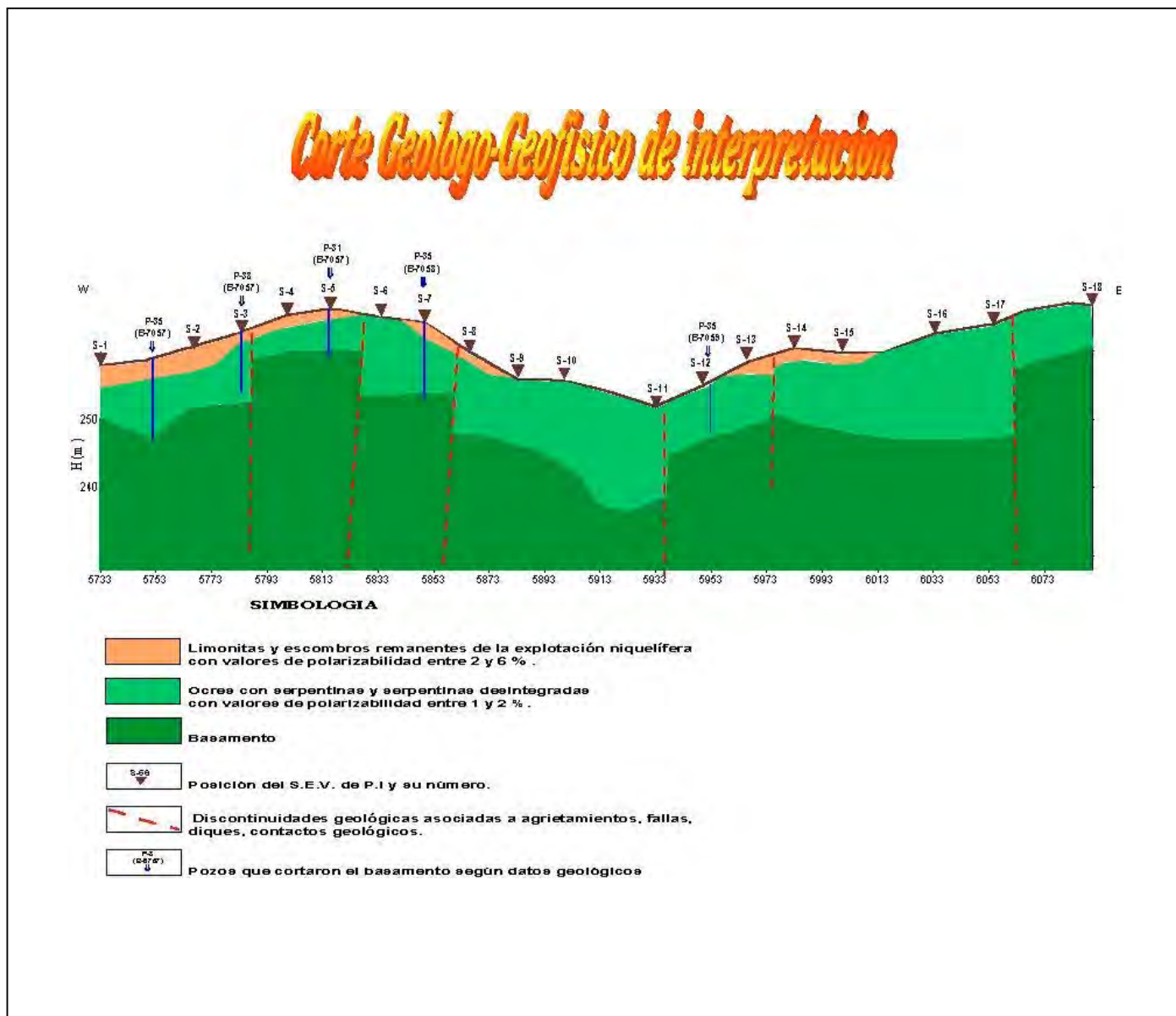


Figura 3. corte geólogo geofísico de interpretación

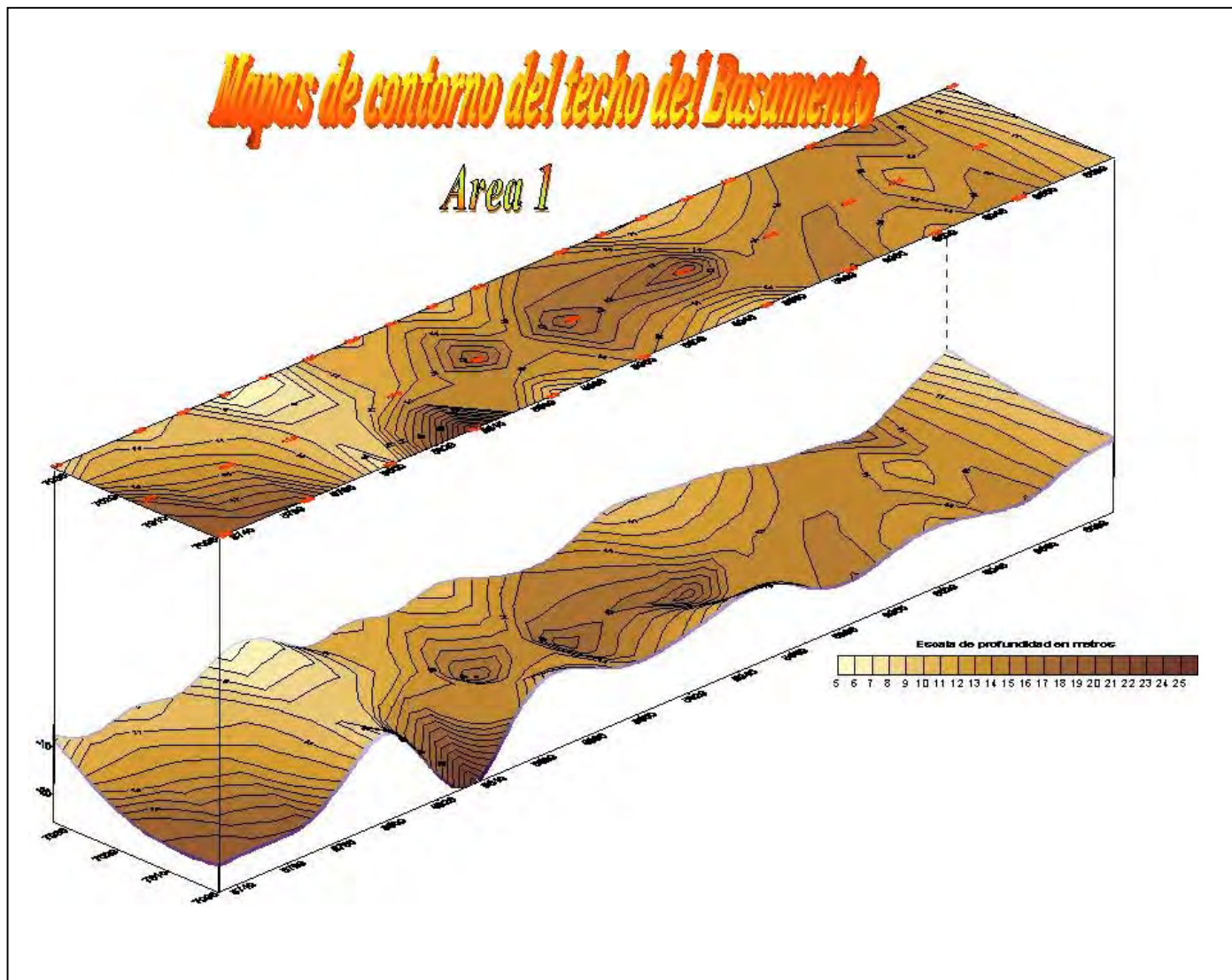


Figura 4. mapa de contorno por el techo del basamento



OPTIMIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN OPERATIVA DE LOS TRABAJOS MINEROS PARA YACIMIENTOS LATERÍTICOS.

M.Sc. Ramón Eddie Peña Abreu⁽¹⁾, Dr. Rafael Arturo Trujillo⁽²⁾, Dr. Santiago Bernal Hernández⁽¹⁾.

- (1) Centro de Investigaciones del Níquel, Carretera a Baracoa, Km. 6, Moa, Holguín, Cuba CP.: 83330, Tel.: (53-24)- 64184 ó 67976 con la Ext. 3545, E-mail: Rpena@Cil.moa.minbas.cu y sbernal@cil.moa.minbas.cu.
- (2) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba CP: 83320, Rrtrujillo@info.ismm.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se expone la modelación matemática realizada al problema de la planificación operativa de la extracción de mineral en yacimientos lateríticos a cielo abierto. El modelo matemático tiene en cuenta cada una de las exigencias que impone el proceso metalúrgico, además incluye las restricciones que impone la minería, así como, otras de carácter medioambiental. Debido a las exigencias y restricciones antes mencionadas, se obtuvo un modelo de Programación Cuadrática Binaria, el cual puede ser resuelto de manera exacta con el algoritmo de enumeración implícita para los casos en que el número de frentes de explotación no son excesivamente grandes, como es el caso de las canteras que se explotan en la industria cubana del níquel. El modelo fue adaptado para responder a situaciones operativas que no pueden ser expresadas en formas de ecuaciones, de tal manera que los algoritmos tradicionales puedan ser adaptados a la resolución del modelo con la flexibilidad necesaria para dar respuesta a las contingencias en un tiempo razonable para su aplicación en el laboreo cotidiano de mineral Laterítico.

ABSTRACT

In this article the mathematical modelation of a problem will be exposed, that is used in the Cuban industry of Nickel and specifically in the branch of the mineral extraction in open pit method. The problem leads to a Mathematical Model in binary variables, the objective function is quadratic and its restrictions are lineal, that is to say, another the environmental character. Due to exigencies and restrictions above mentioned, a Binary quadratic programming model was obtained which can be solve in exactly way with the implicit enumeration algorithm for the cases where the quantity of excavators are not so excessively big. A model of Binary Quadratic Programming is obtained. The model was to adapted to answer a some operative situation, that can not to be adapted to the model with the necessary flexibility to give answer to some contingency in the reasonable time to application in the daily labour mining.



Introducción

En el presente trabajo tiene como objetivo la optimizar de la planificación operativa de la extracción de mineral en yacimientos lateríticos a cielo abierto, para lo cual es necesario formular un modelo matemático que abarque las peculiaridades del proceso en cuestión y que sea lo suficientemente flexible para que responda a la dinámica del proceso productivo que imponen las empresas metalúrgicas y la minería. Las particularidades de la a planificación operativa del laboreo minero en las canteras de minerales lateríticos a cielo abierto se resumen como sigue (Bernal, 1989 y 1996) :

1. El plan está dirigido a la formación de un flujo homogeneizado de volúmenes constantes. Este flujo es siempre discreto y en dependencia del proceso metalúrgico al que abastezca la cantera tomará diferentes formas; en el caso de la cantera Punta Gorda que abastece a la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se forman pilas homogeneizadas; en el caso de la cantera que abastece a la Moa Níquel S.A, el flujo es directo a una planta de preparación de mineral.
2. Los índices medios de la composición cualitativa para la mena¹, en el flujo enviado al proceso metalúrgico en un determinado período de tiempo, deberán satisfacer las exigencias de éste.
3. Se deberá garantizar el laboreo uniforme de los frentes de extracción.
4. El plan debe garantizar la extracción máxima de los componentes útiles (Níquel, Cobalto), o sea, la minimización de las pérdidas de estos componentes por cuenta de la extracción.

Primeramente se exponen las exigencias del confín metalúrgico en cuanto a contenido de los componentes que se controlan en él (Hernández, 1972).

Los procesos metalúrgicos imponen exigencias sobre los contenidos en la materia prima que se le suministra, en cuanto a componentes útiles y otros que por sus propiedades químicas y la forma en que aparecen concentrados en la corteza terrestre, influyen directamente ya sea positiva o negativamente en dicho proceso (Bernal, 1989). Las exigencias en cuanto a contenido varían de un proceso a otro (Vara, 1979, Hernández, 1973), sin embargo esto influye poco en el modelo de planificación operativa desarrollado en el presente trabajo, el cual exige solo el conocimiento del valor de dichos contenidos, esto es posible ya que las condiciones de explotación son similares (Bernal, 1989, Bernal, 1996). Teniendo en cuenta que este modelo será utilizado para ambos procesos, se generaliza con ayuda de la siguiente notación. Por β_{Ni} , β_{Co} , β_{Fe} , β_{Mg} , se designan los contenidos de Níquel, Cobalto, Hierro y Magnesio respectivamente exigidos por el proceso.

La zona de trabajo de una excavadora es parte de un círculo (a estas zonas las enumeraremos con un índice j donde $j = 1...n$), ella se divide en m_j bloques unitarios cada uno de los cuales constituye un sector de este círculo con igual volumen g_0 de mena, los cuales se denominarán en lo adelante *porciones unitarias de menas* (para cada zona j se tienen un número de porciones unitarias, o sea, sectores del círculo, su cantidad no tiene por qué ser igual en cada zona de excavadora, aunque puede darse el caso).

¹ Mineral que se extrae con un objetivo económico.



Se denotan a los valores de los contenidos de Níquel, Cobalto, Hierro y Magnesio en la porción i de la j excavadora por $P_{ij}^{Ni}, P_{ij}^{Co}, P_{ij}^{Fe}, P_{ij}^{Mg}$ respectivamente. La capacidad del flujo es constante y constituye N porciones unitarias de menas. El plan operativo es un conjunto X de valores ordenados de las variables x_{ij} que tienen el siguiente significado (Loughhunn 1970):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si se incluye en el flujo a la planta,} \\ & \text{la porción } i \text{ de la excavadora } j \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

En las canteras estudiadas se utilizan excavadoras que tienen facilidad de desplazamiento, esto favorece la elección de una sucesión racional para la extracción y transportación de las porciones unitarias de menas que serán incluidas en el plan.

Construcción del modelo matemático

Se exige un volumen constante igual a N porciones unitarias en el flujo. Las porciones tienen un volumen constante g_0 , por tanto el volumen total del flujo será de $N \cdot g_0$, este volumen es el plan que impone la industria un período de tiempo determinado (diario, decenal, mensual, etc). La formulación matemática de esta exigencia se muestra en la ecuación (1).

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} x_{ij} = N \quad (1)$$

Cuatro ecuaciones mas (2-5) garantizan en el modelo la segunda exigencia que impone el plan operativo sobre la calidad de los componentes útiles de la mena (Níquel y Cobalto) y los componentes que tienen influencia directa en el proceso metalúrgico (Hierro y el Magnesio).

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} \frac{P_{ij}^{Ni}}{N} x_{ij} \geq \beta_{Ni} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} \frac{P_{ij}^{Fe}}{N} x_{ij} \geq \beta_{Fe} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} \frac{P_{ij}^{Co}}{N} x_{ij} \leq \beta_{Co} \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} \frac{P_{ij}^{Mg}}{N} x_{ij} \leq \beta_{Mg} \quad (5)$$



En las zonas de las excavadoras pueden conocerse de antemano porciones unitarias que no deban ser incluidas en la planificación y el planificador deberá cuidar de no incluirlas en el dominio de las variables del modelo.

Las restricciones que se expondrán ahora tienen en cuenta la diferencia admisible (se denotará por Δ_{jk}), en porciones unitarias de menas, de los volúmenes de extracción entre las zonas de j y k excavadoras, o sea, Δ_{jk} fija la cantidad de porciones unitarias a extraer entre una zona de excavadora y otra, esto satisface la tercera exigencia para la confección del plan operativo y garantiza el desarrollo uniforme de la extracción, es decir, estas restricciones se encargan de que el plan no concentre la extracción en los frentes de alta ley a y despreocie los de baja ley, esto favorece una explotación racional de los recursos que trae como consecuencia un aumento de la vida útil del yacimiento y de esta manera coadyuva a la protección del medio ambiente, ya que trae consigo una disminución de la tala de bosques y se gana tiempo para que la naturaleza prolifere la especies, este es un problema de gran actualidad en el país y en especial para el municipio Moa. Los valores de la magnitud Δ_{jk} se establecen sobre la base de conceptos mineros y medioambientales definidos en (Bernal, 1989). Las restricciones son las siguientes:

$$\left| \sum_{i=1}^{m_j} x_{ij} - \sum_{i=1}^{m_k} x_{ik} \right| \leq \Delta_{jk}, \quad j, k = \overline{1, n};$$

$$j < k; \quad \Delta_{jk} \in \{0, 1, 2, \dots, u\}, \quad u < \min_{j=1, n} (m_j)$$

Como vemos son C_n^2 restricciones no lineales, es decir, es la combinación dos a dos de todas las excavadoras. Podemos descomponer cada una de estas restricciones no lineales en dos lineales como sigue:

$$\sum_{i=1}^{m_j} x_{ij} - \sum_{i=1}^{m_k} x_{ik} \leq \Delta_{jk}, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{m_k} x_{ik} - \sum_{i=1}^{m_j} x_{ij} \leq \Delta_{jk}, \quad (7)$$

$$\Delta_{jk} = 1, 2, \dots, u; \quad j, k = \overline{1, n}; \quad j < k, \quad u = \min_{j=1, n} (m_j)$$

Donde, $C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!}$. Serán entonces estas $2C_n^2$ las que entrarán en el modelo matemático.

En la confección del plan óptimo se tienen en cuenta los criterios operativos, y se busca que éste minimice las pérdidas en la extracción de los componentes útiles (Níquel y Cobalto) del subsuelo, durante un período de explotación de la cantera. Tales exigencias se consideran valorando la aproximación del contenido medio de Níquel y Cobalto en el flujo, a los valores medios de Níquel $\overline{\alpha_{Ni}}$ y de Cobalto $\overline{\alpha_{Co}}$ en las zonas donde se ha decidido posicionar las excavadoras, vale aclarar que los valores medios de Níquel y Cobalto, así como la posición de las



escavadoras se obtiene de la resolución de un modelo geoestadístico (Bernal, 1989). El efecto económico de la explotación del Níquel y el Cobalto en una tonelada de mineral lo introducimos en el modelo con la ayuda de los coeficientes C_{Ni} y C_{Co} . Se ha dado una explicación detallada de la cuarta exigencia en la confección del plan operativo para la extracción y la cual constituye la Función Objetivo del modelo Matemático:

$$C_{Ni} \left(\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} P_{ij}^{Ni} x_{ij}}{N} - \bar{\alpha}_{Ni} \right)^2 + C_{Co} \left(\frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} P_{ij}^{Co} x_{ij}}{N} - \bar{\alpha}_{Co} \right)^2 \rightarrow Min. \quad (8)$$

De esta manera el plan que se obtiene al optimizar la función objetivo (8) sujeta a las restricciones (1)-(7) permite utilizar al máximo los componentes útiles del frente minero en explotación. El modelo obtenido es un problema de programación matemática en enteros, en específico un problema cuadrático en variables binarias (Loughhunn 1970) ya que todas las restricciones son lineales, la función objetivo es cuadrática y las variables binarias.

Transformaciones del Modelo

Loughhunn, 1970 expone el algoritmo de enumeración implícita para el caso cuadrático el cual puede ser aplicado directamente al modelo que se ha obtenido, con solo hacer unas transformaciones a la función objetivo de tal manera que se obtenga una forma cuadrática. En Garfinkel se expone el algoritmo para el caso lineal, para aplicar este se necesita linearizar la función objetivo del modelo, parece lógico que un modelo lineal sea mas sencillo de resolver, sin embargo al aplicar la linearización dada por Glover Fred and Woolsey, 1973, la función que se obtiene para este modelo, hace mas complejo el algoritmo de enumeración implícita lineal que el cuadrático, entonces se usará este último para encontrar solución al modelo.

La primera transformación se le realizarán a las sumatorias dobles que aparecen en el modelo, estas pueden ser consideradas como simple, si tenemos en cuenta que dada las características del modelo cada suma está ordenada, o sea, los primeros m_1 términos de la suma pertenecen a las variables que representan las m_1 porciones unitarias de la excavadora 1, luego le siguen m_2 sumandos de las m_2 porciones unitarias de la excavadora 2 y así sucesivamente hasta que aparezcan los m_n sumandos de la excavadora n. De aquí que la suma tenga en total s

$$\text{términos, } s = \sum_{j=1}^n m_j.$$

Para lograr una sumatoria simple en el modelo, se hace corresponder a cada par de índices i, j un índice t , donde $t = \overline{1, s}$, o sea, $t \rightarrow i, j$, así se obtiene un conjunto ordenado de todos los índices t , $T = \{t | x_t = x_{ij}, j = \overline{1, n} \text{ y } i = \overline{1, m_j}\}$. Debido a que en las restricciones (6) y (7) las sumatorias se realizan para las variables que corresponden a las porciones unitarias de cada excavadora por separado se hará una partición al conjunto T en n subconjuntos T_j mutuamente exclusivos y



colectivamente exhaustivos tales que $T_j = \left\{ t \mid x_t = x_{ij}, i = \overline{1, m_j} \right\}$, estos contienen los índices de las variables correspondiente a la excavadora j .

Transformación de la Función Objetivo

Para lograr una forma cuadrática a partir de la función (8), se introduce una variable ficticia al modelo $x_{s+1} \in \{0,1\}$, esta multiplicará a los coeficientes $\overline{\alpha_{Ni}}$ y $\overline{\alpha_{Co}}$, como se necesita que estos coeficientes participen siempre en la solución del problema, se añade una restricción a la variable x_{s+1} para que tomé solo valores iguales a la unidad. La función $f(x)$ obviamente será semidefinida positiva y transformada toma la siguiente forma:

$$f(x) = C_{Ni} \left(\sum_{t=1}^s l_t^{Ni} x_t - \overline{\alpha_{Ni}} x_{s+1} \right)^2 + C_{Co} \left(\sum_{t=1}^s l_t^{Co} x_t - \overline{\alpha_{Co}} x_{s+1} \right)^2$$

$$\text{donde } l_t^{Ni} = \frac{P_t^{Ni}}{N}, l_t^{Co} = \frac{P_t^{Co}}{N}$$

Desarrollando a $f(x)$, se obtiene definitivamente el modelo 1'-9':

$$f(x) = \sum_{i=1}^{s+1} l_{ii} x_i^2 + 2 \sum_{\substack{i,j=1 \\ i < j}}^{s+1} l_{ij} x_i x_j \rightarrow \text{Min} \quad (8)'$$

donde:

$$l_{ii} = C_{Ni} (l_i^{Ni})^2 + C_{Co} (l_i^{Co})^2,$$

$$l_{ij} = C_{Ni} l_i^{Ni} l_j^{Ni} + C_{Co} l_i^{Co} l_j^{Co}$$

$$l_{is+1} = -(C_{Ni} l_i^{Ni} \overline{\alpha_{Ni}} + C_{Co} l_i^{Co} \overline{\alpha_{Co}}),$$

$$l_{ii} = C_{Ni} (\overline{\alpha_{Ni}})^2 + C_{Co} (\overline{\alpha_{Co}})^2$$

$$\sum_{t=1}^{s+1} x_t = N \quad (1)'$$

$$\sum_{t=1}^{s+1} l_t^{Ni} x_t \geq \beta_{Ni} \quad (2)'$$

$$\sum_{t=1}^{s+1} l_t^{Fe} x_t \geq \beta_{Fe} \quad (3)'$$

$$\sum_{t=1}^{s+1} l_t^{Co} x_t \leq \beta_{Co} \quad (4)'$$

$$\sum_{t=1}^{s+1} l_t^{Mg} x_t \leq \beta_{Mg} \quad (5)'$$



$$\sum_{t \in T_j} x_t - \sum_{r \in T_k} x_r \leq \Delta_{jk}, \quad (6)'$$

$$\sum_{t \in T_k} x_r - \sum_{r \in T_j} x_t \leq \Delta_{jk} \quad (7)'$$

$$\Delta_{jk} = 1, 2, \dots, r; j, k = \overline{1, n};$$

$$j < k, r < \underset{j=\overline{1, n}}{\text{Min}} (m_j)$$

$$x_t \in \{0, 1\}, t = \overline{1, s+1}$$

$$x_{s+1} \geq 1 \quad (9)$$

Conclusiones

La conclusión fundamental que genera el trabajo es el hecho de que la planificación operativa de la extracción de mineral laterítico en canteras a cielo abierto puede ser expresada por el modelo matemático 1'-9', el cual es Cuadrático en Variables Binarias. Además podemos concluir que este modelo contempla cada una de las exigencias del proceso metalúrgico y la minería, así como, la racionalidad en la explotación del yacimiento. Como segunda conclusión, tenemos que para las dimensiones del problema que se genera con la minería del níquel en Cuba, este modelo tiene solución en tiempos razonables para su aplicación, con algoritmos exactos, lo que facilita la introducción en la industria.



Bibliografía

- Bernal Henandez.Santiago. Dirección Operativa de la Calidad de la Mena en la Cantera Moa. Tesis Presentada para optar por el Grado de Doctor en Ciencias. Leningrado, 1989.
- Bernal Hernandez Santiago, y otros. Tecnología del Minado para Elevar la ley de Níquel y la Estabilidad del Flujo de Mena Abastecido al Proceso de la Empresa Comandante Ernesto Guevara. Etapas 06,03. Trabajo de Investigación Científica, C.I.L. Moa, Noviembre de 1996.
- Garfinkel R. and Nemhauser G. I. Integer Programing. --1.ed--. Series in Decision and Control. CPRENTICE-HALL,INC. (sa), 1990.
- Glover Fred and Woolsey Eugene. Futher Reduction of Zero-One Polynomial Programming Problems to Zero-One Linear Programing Problems. Operations Research. Vol 21,Nr 1 de 1973.
- Hernandez Extrada Sergio y otros. Metalurgia Extractiva de los Minerales Oxidados de Níquel en Cuba.--1ed--. Instituto Cubano del Libro: La Habana, 1972.
- Loughhunn. D.J. Quadratic Binary Programing With Aplication to Capital - Budgeting Problems. Operation Research Vol 18,Nr 3, 1970.
- Vara Angel Yeste. Introducción a los Yacimientos de Níquel Cubanos. De ORBE, La Habana, 1979.



EXCAVATORS AND TRUCKS POSITIONING SYSTEM DEVELOPMENT AND SUPPLY FOR THE OPEN PIT MINING FACILITIES.

Rafael de J. Aguilera Hernández⁽¹⁾, Roilan Perez Cabana⁽²⁾

(1) "Commander Ernesto Che Guevara" Nickel Plant Carretera Moa-Baracoa km 5.5 CP83330. Moa. Holguín. CUBA. Control Panel: 6-8012 ext. (838). Fax: 6-2240 E-mail raguilera@ecg.moa.minbas.cu

(2) "Commander Ernesto Che Guevara Nickel Plant, Carretera Moa-Baracoa km 5.5 CP83330. Moa. Holguín. CUBA. Control Panel: 6-8012 ext. (719). Fax: 6-2240 E-mail rpcabanas@ecg.moa.minbas.cu

SUMMARY

The above mentioned system incorporates a GPS System (*Global Positioning System*), in every excavator and truck, which provides the absolute position of the vehicle. The excavator relative position is determined by an inductive sensor system. These data get to a process unit, provided in each equipment, crane or truck, that fuses the signals from the sensors, calculates the excavator absolute position, and send the data again by radio to the base or Central Control Unit. This Central Control Unit shall have a Supervision Point that enables to know every excavator or truck instantaneous position, based on Geological Reference and Cartographic basis, where each authorized user will be able to see the position from where each excavator bucket is passing, in his PC, automatically calculating the contents of the useful components desired, and he will be able to plan every equipment activity by an extraction plan, transmitted in GPS way, thus every excavator or truck operator is able to operate according to this preset plan. The Positioning System shall be valid for both the excavators with shovels moved by cables, the hydraulic excavators and for the ore haulage trucks.

1. Introduction

This document describes the manufacture and starting of the absolute position measuring for excavators and ore haulage trucks in open pit mining operations, as well as sending the data collected in real time to a Central Control Unit.

The system mentioned incorporates a GPS Module (*Global Positioning System*), in every excavator and truck, providing the vehicle absolute position. The relative position of the excavator is determined by an inductive sensor system. These data get to a process unit installed in every vehicle, crane or truck, which fuse the signals from the sensors, calculates the absolute position of the excavator and rebroadcast the data by radio to the base or Central Control Unit. This Central Control Unit shall have a Supervision Point, enable to know the instantaneous position of each excavator or truck, based on geological reference and cartographic basis, where each authorized user will be able to see from where every excavator bucket is passing in his PC, automatically calculating the contents of the useful components desired, and will be able to plan the activity of each vehicle by means of an extraction plan that is broadcasted in GPS way, so that the operator of each excavator or truck can operate according to this preset plan. The positioning system will be valid both for the excavators with shovels moved by cables and hydraulic excavators and for the material haulage trucks.

Equipment and standard solutions, which are compatible with the ones in use at present, shall be used as required at Commander Ernesto Che Guevara Nickel Plant Mine.



2. Technical proposal.

The system proposed includes the positioning sensors subsystem, process and data transmission to be installed in every excavator or truck and the Central Control Unit for collecting, storing and providing the data.

Several elements implementation and operation are described in details in the following sections.

2.1. The system general architecture.

The whole system is based on a base station for collecting, storing and providing the data, asking to every excavator or truck, collecting the position data of every shovel or vehicle, storing these data, so that they are available for the mine work planning manager; thus he will be able to check the previous zones covered every shovel, or the one that is being excavated at present, as well as the position and the trucks itinerary at any time,

2.2. Position obtention and broadcasting system.

The subsystem for obtaining and broadcasting the position consists of the position sensors, a microprocessor (CPU) that will fuse the signals obtained from several sensors in order to get the excavator or truck absolute coordinates, and a receiver broadcasting module, by which the orders from the base station will be received and the position data will be sent when the station requests them.

2.2.1. Position sensors.

As an absolute position sensor of the excavator, a DGPS Module (GPS Differential) is used, providing the absolute position coordinate of the antenna directly to CPU, corrected with the information of a GPS Module, located at a fixed and known position (the building where the Central Control Unit is located).

For the trucks, this information is enough. For the excavators, the shovel relative position is calculated from the drum (dromos) angular position, controlling its free movement by means of steel cables. In the case of the hydraulic excavators, angular sensors shall be installed at its ball and socket joint arms. It is necessary to state here that due to the work medium nature and the sensors operating conditions, it is essential to select a robust, low cost and easy maintenance technology, that is also easily integrable at the crane drives.

For the above mentioned reasons, it has been considered to use inductive sensors, two per drum (dromo), in order to be able to obtain the magnitude and the turning direction, in the same way as it is carried out in the increase encoders.



These sensors installation only requires to have a part available, which turning is common with the drum (dromo), as well as having metal ridges that are detectable by inductive sensors. In this sense, it would be ideal to be able to use a gear of the motor – drum(dromo) drive, as its way is particularly easy to read by the inductive sensors.

If this choice would not be feasible, equal spaced screws may be incorporated at the periphery of the same drum (dromo), so that the angular position of it is read, counting the number of screws that have passed opposite the inductive sensors.

2.2.2. Central processing unit.

The CPU shall collect the absolute position signal provided by the DGPS, as well as the angular position reading of each drum (dromo) provided by the inductive receivers.

From the angular positions of the drums (dromos) positioning the shovel, the CPU, solving the direct corresponding, will calculate the relative position of the excavating shovel. With the purpose that the system is adaptable to different models of excavators, the resolution algorithm of the direct cinematic problem shall be configurable, to be able to accept different values of parameters, such as the lengths and articulations of the arms. Finally, from the relative position calculated and from DGPS data, the CPU calculates the absolute coordinates of the shovel and bucket, and store them to be able to rebroadcast them to the base station when it requests them. For data communication with the base station, the CPU will incorporate the necessary *hardware and software modules, in order to implement a modem compatible with the foreseen transceiver radio*. This CPU incorporates a small local man- machine interface in every excavator or truck, mounted on a monitor VGA of 6", showing visually in a map the shovel present position and the target position, indicating the difference between both and showing other possible messages sent from the base station.

2.2.3. Transmitter – receiver module.

As a data transmitter- receiver module, and aimed at getting maximum compatibility of the new system with infrastructure already available at Commander Ernesto Che Guevara Plant Mine, broadcasting stations as the ones in use at present at the mentioned facility, shall be used. In fact, it is considered to use the existing broadcasting stations for the mine working.

2.3. Central control unit.

The Central Control Unit, or base station, requests in sequence from every excavator and truck in operation, getting the corresponding position of each excavating shovel, storing this information in the equipment, so that it is available for the mine work operation manager to be able to check the operation, as well as the previous zones covered by every shovel, or the one which is being excavated at present, as well as the paths followed by the trucks at any time.

The Central Control Unit consist of software application set, performed on the compatible controller PC, complemented with a transmitter – receiver equipment, as the ones used for obtaining and broadcasting the position. Additionally, a GPS Module will be incorporated to the base station, to be able to implement a differential correction and correcting the error related to the GPS for the calculation of each shovel position.



2.3.1. Man-machine interface.

The man-machine interface perform all the data exchange functions between the mine work manager and the system proposed, among which the following ones should be highlighted:

- Configuration of each subsystem installed in the excavators and trucks for obtaining and broadcasting the position.
- Generation of the mine work way programmed.
- Presentation of the real present position programmed of each shovel and truck on a drawing 2D of the mine work, allowing to analyze the deviations in the mine work program.
- Geological Reference and Cartographic basis, as a background for better interpretation of the results.
- Storing of history positions of each shovel and truck, so that in addition to the present position, the path followed by each vehicle can be provided during a given time period.
- Automatic generation of alarms when the distance between the real operating zone of a shovel and the assigned one exceeds a programmed threshold.

2.3.2. Communication modules

The communication modules implements a customer – server protocol , with an error detection layer and rebroadcasting of proper messages for the disappearance and fluctuations in the quality of the radio loop used. Thus, the substations installed in excavators for obtaining and broadcasting the position, work as an information server, staying prepared for listening until the Central Control Unit (customer), requests any data. Each message sent by the Central Control Unit will contain a header indicating to which substation it is directed to. If the time assigned elapses (*time-slot*), a valid reply from the substation requested has not been obtained, the communication module will notify the error to the man-machine interface, and it will be ready to process the following message. Besides the identification of the substation to which the messages are sent to or come from, the messages will contain in the header an additional label showing the type of message. This allows to set a flexible and easily expandable communication architecture, capable of arranging not only the position data messages, but configuration messages, programming and information of any kind between the substations installed in the excavators and the base station.



APLICACION DEL SISTEMA DE EXPLOTACION POR BANCOS EN LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS CUBANOS.

Edil F. Hernández Vidal

Moa Nickel S.A. "Pedro Sotto Alba". Carretera de puerto, S/N. Rpto. Rolo Monterrey, Moa, Holguín, Cuba. CP.83300 E-mail: ehernandez@moanickel.com.cu

RESUMEN

El trabajo "Aplicación del sistema de explotación por bancos en los yacimientos lateríticos cubanos" describe los procedimientos que permitieron aplicarlo exitosamente en la explotación de los yacimientos lateríticos de la entidad minera Moa Nickel S.A. "Pedro Sotto Alba".

Se da énfasis especial a la automatización que es necesario aplicar en prácticamente todos los procesos técnicos: Bases de datos, cálculos, diseño, planificación minera, programa de producción y controles de operación, entre otros, aunque fundamentalmente se detallan los métodos para aplicar dicho Sistema.

Se presentan los resultados más significativos obtenidos con esta metodología, tales como, mejoras en el control geológico y topográfico, disminución de los parámetros de dilución, mayor aprovechamiento de los recursos naturales, mayor productividad, y reducción de los costos de operación.

El valor fundamental de este trabajo radica en que puede ser implementado como método principal de explotación de los yacimientos lateríticos, que yacen en forma de "manto" y que además ocupan grandes extensiones, como es el caso de los yacimientos del norte oriental de Cuba.

ABSTRACT

The presentation on "Use of benches exploitation system in the Cuban lateritic orebodies" describes the procedures that made possible the successful use of this method in the exploitation of the lateritic ore bodies in the mining entity Pedro Sotto Alba, Moa Nickel S.A.

Special emphasis is paid to the automation necessary to be applied almost in all the technical processes: Database, calculations, mine design, mine planning, production schedule, operation controls, etc. Although the main issues are the methods to apply said system.

The most significant results achieved with this methodology are presented, such as, improvements in the topographic and geological control, decrease in the dilution parameters, better utilization of the natural resources, higher production, and decrease of the operating costs.

The main importance of this presentation is that can be used as main lateritic orebodies exploitation method, which have layer form and occupy huge extensions like the case of deposits at the northwest of Cuba.



Introducción

La viabilidad de llevar a cabo un proyecto minero esta en función de la ocurrencia simultánea y favorable de diferentes eventos: ambiente geológico, distribución de la mineralización, roca base, tonelaje, ley, recuperación metalúrgica, situación geográfica, disponibilidad de los recursos, valor del mineral, condiciones de mercado, entre otros. Tomando en consideración lo anterior, se hace necesario la búsqueda de nuevos métodos o técnicas, que permitan con un grado de confiabilidad aceptable, llevar a cabo la explotación económicamente factible y racional de los recursos minerales.

La Concesión Minera Moa Nickel S.A. esta geográficamente ubicada muy cerca de la localidad de Moa, en la provincia Holguín, extremo nororiental de Cuba. Sus yacimientos se encuentran desarrollados sobre la superficie de un macizo ultrabásico, compuesto fundamentalmente por Peridotitas y Serpentinitas que dieron lugar a la formación de la corteza de intemperismo laterítico. La integran básicamente, tres extensos depósitos minerales, aislados uno de otros por accidentes geográficos significativos, entre los que se encuentra el río Moa.

Durante más de 40 años se han estado explotando eficientemente los yacimientos de la Empresa Pedro Sotto Alba, sin embargo, no fue hasta la constitución de la Empresa Mixta (Moa Nickel S.A.) en 1994 que se introdujeron cambios significativos en las técnicas y métodos empleados en cada una de las etapas del proceso de producción de la Mina, ocasionados por los incrementos sostenidos de producción de la Planta, hasta sobrepasar su capacidad de diseño original, y la necesidad de disminuir los costos de operación.

A consecuencia de ello se intensificaron los ritmos de minería y el agotamiento de los recursos geológicos, y se establecieron requerimientos superiores en la calidad y estabilidad del mineral que se entrega a la planta de procesamiento. Conjuntamente, se inició en la minería un proceso de mejoras e introducción de nuevas técnicas y tecnologías que han permitido satisfacer la demanda y calidad del mineral, así como los requerimientos de producción, costos y compromisos medio ambientales establecidos por la Empresa.

Como parte de esa política, se renovó casi en su totalidad la flota de equipos existentes, y con ello el tradicional sistema de explotación por el de explotación por bancos. Su implementación requirió tener en soporte magnético toda la base de datos, crear un modelo geológico por bloques acorde a las características técnicas del equipamiento, adecuar los parámetros de cálculo y controles geológicos, crear un software de minería apropiado para realizar todos los cálculos, el diseño, programa y planificación de la minería, además del control de las operaciones mineras.

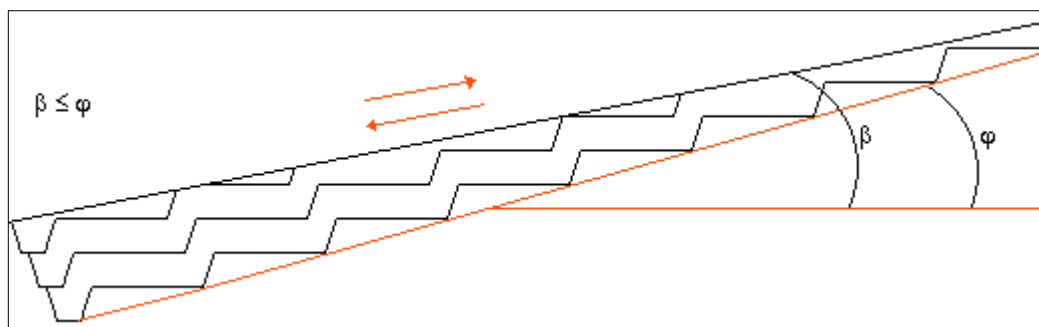
Sistema de Explotación

Para llevar a cabo la implementación del sistema de explotación por bancos se realizaron varios estudios y proyectos, relacionados fundamentalmente con las características técnicas del equipamiento minero y las características geológicas de los yacimientos. Era evidente que desarrollar la minería de la forma tradicional con el nuevo equipamiento adquirido, era imposible. De modo que, el primer trabajo estuvo encaminado a determinar el método de explotación.



La primera conclusión estuvo basada en que las características propias de yacencia de los cuerpos minerales nuestros permitían de forma general, desarrollar una minería mediante la apertura y desarrollo de frentes continuos a través de bancos múltiples paralelos y por la horizontal, y con la utilización de medios de transporte. Básicamente, esto es debido a que la similitud de los ángulos de inclinación del cuerpo mineral y de la superficie del terreno natural posibilitan la apertura por cualquier horizonte o por varios a la vez, y desarrollarlos lo mismo de arriba hacia abajo, que de abajo hacia arriba [1]. De este modo, durante la ejecución de la minería resultará solo un borde de trabajo, donde el ángulo de inclinación del terreno natural β es menor o igual al ángulo del borde de trabajo calculado φ (Figura - I).

Figura - I Esquema de desarrollo de los trabajos mineros.



Parámetros de Explotación

El segundo aspecto clave que se tuvo en cuenta fue la determinación de los parámetros de explotación, donde nos limitamos esencialmente a garantizar tres puntos básicos: Calidad del mineral puesto en planta, productividad y seguridad en las operaciones.

Altura de banco - Su determinación estuvo basada en los siguientes parámetros: Altura del camión a utilizar, visibilidad apropiada para el operador de la retroexcavadora durante la carga, mayor estabilidad del talud, menor pérdida y empobrecimiento en los contactos entre las menas (fundamentalmente escombro / mineral). La altura de banco calculada es de 3 metros para usarla tanto en el escombreo como la extracción.

Angulo de talud - La inclinación será siempre superior a 85°, con ello se garantiza seguridad y estabilidad.

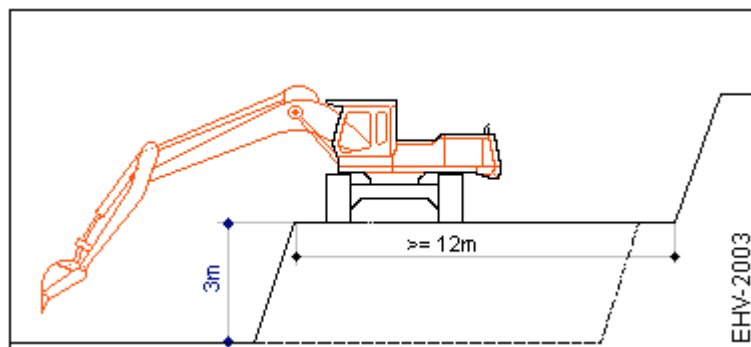
Plataforma de trabajo - Para garantizar mayor productividad, la carga se proyectó realizarla desde el banco superior, con un ancho mínimo de 12 metros para la plataforma de trabajo (Figura - II). Para la apertura de un nuevo Frente u otra causa colateral se realizará la carga a nivel de plataforma (en el mismo nivel de ubicación de la retroexcavadora), en tal caso si el camión tiene que retornar a la misma vía para regresar el ancho mínimo de la plataforma será de 16 metros [2], [3].

Viales - Se conciben generalmente, caminos principales ubicados fuera de las áreas en operación, con un ancho máximo de 14 metros y pendientes no mayores de 8 %. La comunicación entre bancos se realiza a través de rampas que pueden ser de dos o una sola vía.



Equipos - El equipamiento minero básico se compone de camiones articulados de 32 toneladas de capacidad de carga y retroexcavadoras hidráulicas con cubos de 6 m³ de capacidad.

Figura - II Sección típica. Frente de extracción por banco.



Planificación Minera

Este punto está estrechamente vinculado con la geología. Se creó un modelo geológico para la explotación, basado en la altura de los bancos y el radio de alcance del equipo de carga. Principios que determinaron la división por horizontes (bancos) del yacimiento y el tamaño de los bloques de 8x8x3 metros.

Adicionalmente, se definieron los parámetros de cálculo y la identificación de cada bloque por colores en dependencia de la calidad del material. Para la planificación se usa el software SIM (Sistema Integral Minero) creado por un especialista de nuestra entidad. Este Sistema genera, calcula y diseña cada banco en función de los parámetros o criterios de diseño predefinidos.

Cada plano o reporte que emite este programa nos muestra el número del banco, la ley y el volumen de mineral y escombros a minar.

Las etapas o fases de minería están acorde a los procesos del esquema tradicional de explotación. El desbroce en primer lugar se realiza con bulldozer, apartando la capa vegetal para depositarla y utilizarla posteriormente en la rehabilitación.

La remoción de escombros y la extracción del mineral le siguen en un segundo y tercer orden, aunque en este caso ambas actividades se realizan con el mismo equipamiento e igualmente por bancos. Además, durante el escombreo se separa el material que no posee ningún valor económico del que posee más alta ley, el cual pudiera constituir una mena útil en el futuro.

Los frentes de excavación avanzan por la horizontal desplazándose en dirección predefinida, guiados por la dimensión de los bloques. La identificación de los bloques en el terreno orienta al operador, a los geólogos y jefes de operaciones. La retroexcavadora se posiciona en la plazoleta para realizar la extracción avanzando en retroceso por una hilera de bloques de 8x8 m, de modo tal que logre realizar la carga del camión sin dificultad, ubicado en la plataforma inferior.



Diseño de Tajo

Un yacimiento laterítico cubano suele ocupar una extensión territorial bastante grande. Con la ayuda de cualquier software profesional se puede realizar el proyecto de explotación para un yacimiento de cuerpo lineal X, pero no para uno en forma de "manto" como los lateríticos. Es por ello que una de las etapas de estudio para este proyecto lo constituyó la definición de cómo iniciar y desarrollar la minería por bancos, por cual parte comenzar y que perímetro ocupar, sin que ello limitara o afectara la mezcla apropiada del mineral puesto en planta.

Esta etapa ocupó realmente mucho tiempo de estudio, finalmente se determinó que se podían definir dentro de un yacimiento las áreas con similitud de características, y a ello se le llamó "Tajo" (en inglés suele llamarse Pit), en el cual puede diseñarse una o más áreas para su explotación independiente. Estas áreas, en la práctica pueden estar limitadas por un camino principal o una simple cañada.

Como se explica en el punto "Sistema de explotación" el diseño se puede realizar de abajo hacia arriba o al revés, pero en nuestro caso ha sido más frecuente la operación desde los bancos superiores hacia abajo.

Programa de producción

Esta en función de diferentes premisas, que son previamente acordadas con las plantas de proceso y el taller de mantenimiento, teniéndose en cuenta parámetros tales como: eficiencias, plan de producción, presupuesto, disponibilidad del equipamiento y preparación de los Frentes, que al final, en mayor o menos grado definen el por ciento de participación de cada yacimiento y frente de minería y la calidad del mineral puesto en planta.

Resultados

Mediante la aplicación de este sistema de explotación se pueden obtener significativos logros, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Mejor control topográfico (las áreas de trabajo que se conforman durante la explotación permiten delimitar fácilmente los bloques para la explotación y llevar las mediciones topográficas con mayor rapidez y calidad).
- Mejor control geológico (las áreas de minería bien delimitadas y la altura de los bancos de 3 metros permiten tomar muestras con mayor facilidad y sin riesgos, y reorientar la minería si es necesario).
- Mínima contaminación (la definición de los bloques con estacas (identificadas con x, y, z) permite al operador extraer con mayor precisión los bloques de escombro o mineral; tampoco es necesario construir caminos con material contaminante en los Frentes).
- Mayor aprovechamiento de las reservas minerales (la movilidad de la retroexcavadoras permite llegar hasta el fondo con los equipos y minar con mayor precisión en el contacto limonita - serpentina).
- Mayor productividad (alto rendimiento de los equipos por la posibilidad de tener varios frentes de explotación en un mismo horizonte y a corta distancia uno de otro).
- Mayores alternativas de minería (se logran varios frentes de minería en un mismo banco y en varios bancos a la vez).



Conclusiones

Un modelo de bloques adecuado a las condiciones de cada yacimiento es la clave para ejecutar un sistema similar en cualquier yacimiento mineral.

El sistema de explotación por bancos y el modelo de bloques, aplicados en Moa Nickel S.A. "Pedro Sotto Alba" son aplicables a cualquier yacimiento laterítico de la región nororiental de Cuba.

Los costos unitarios de operación pueden ascender hasta en un 20 %, si usamos el equipamiento actual con el esquema tradicional de explotación (retroexcavadoras como órgano de extracción).

Si implementamos el sistema propuesto, los costos pueden disminuir hasta en un 15 %, comparado con el sistema de explotación tradicional en condiciones similares a las actuales. Es decir usando Dragalinas en yacimientos de baja potencia mineral, menor grado de mineralización que los yacimientos agotados y distantes unos de otros hasta en 8 km.

Bibliografía

Arcentiev A. I. "Apertura y Sistema de explotación de Minas a Cielo Abierto". Moscú, Nedra – 1987.

Rzhevskii V. V. "Procesos de los trabajos mineros a cielo abierto". Moscú, Nedra - 1984.

Jojriakov V. C. "Proyección de minas a cielo abierto". Moscú, Nedra - 1990.



ANÁLISIS MINERO-TÉCNICO DE LA UTILIZACIÓN DE BANCOS MÚLTIPLES PARA LA EXPLOTACIÓN EN LA MINA DE LA ECECG.

Marianny Espinosa Frómeta, Antonio Manuel Pedro Alexandre

Centro de Investigaciones del Níquel, Carretera Moa-Baracoa Km. 5½ s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330, Tel. 53-24 67123 y 67976, mespinosa@cill.moa.minbas.cu

RESUMEN

En la explotación de los yacimientos lateríticos el uso del equipamiento y el método de explotación utilizado determinan la calidad y productividad de la masa minera a extraer.

En el trabajo se estudian y valoran de acuerdo a las características y condiciones de geológicas de los yacimientos la utilización del método de explotación tradicional y la explotación por bancos en distintos sectores del yacimiento.

En los estudios se consideran la distribución geológica de los diferentes tipos de minerales y la participación de los diferentes frentes y sectores mineros para la utilización de uno u otro método de explotación.

Se muestran las ventajas técnico-económicas y organizativa en la extracción minera de la explotación por el método de explotación por bancos y los métodos tradicionales.

La utilización del método de explotación por bancos permite disminuir los volúmenes de mineral perdido durante extracción minera y los estériles que empobrecen la calidad de la masa minera.

Palabras Claves: Método de explotación, lateritas, mineral, níquel

ABSTRACT

In the exploitation of the ferro-nickeliferous lateritic orebodies the use of the equipment and the used method of exploitation determine the quality and productivity of the mining mass to extract.

In the work they are studied and they value according to the characteristics and conditions of geologic of the lateritic orebodies the use of the method of traditional exploitation and the exploitation for banks in different sectors of the location.

In the studies they are considered the geologic distribution of the different types of minerals and the participation of the different fronts and mining sectors for the use of one or another method of exploitation.

The technician-economic and organizational advantages are shown in the mining extraction of the exploitation by the method of exploitation for banks and the traditional methods.

The use of the method of exploitation for banks allows to diminish the volumes of lost mineral during mining extraction and the sterile ones that impoverish the quality of the mining mass.

Key words: Exploitation Method, laterites, ore, nickel.

Introducción

La industria minera constituye la base de materia prima para la industria metalúrgica. Sin metales no podría subsistir prácticamente ninguna rama de la economía de un país. La materia prima necesaria para la obtención de los metales la constituyen los minerales cuya extracción es principalmente la tarea primordial de la industria minera.

La eficiencia de la industria metalúrgica depende en gran medida de la calidad del material que se le suministra (Vera, 1979). Existe una estrecha relación entre ambas industria, todo el proceso funciona como un sistema donde intervienen trabajos geológicos, de extracción y transporte del mineral, de beneficio y tratamiento metalúrgico.



El presente trabajo surge por la necesidad de dar respuesta a las dificultades que se presentan durante la extracción del mineral en el yacimiento Punta Gorda de la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, en zonas con mineralización discontinua y relieve abrupto, donde la extracción con Dragalina que se usa tradicionalmente no resulta adecuada ya sea por el empobrecimiento que produce en el mineral con el sistema de arrastre o por lo difícil de su desplazamiento, a lo que se añade el alto costo de estos equipos.

Con la realización de este trabajo se persigue determinar en que condiciones minero – técnico se puede emplear la extracción por bancos múltiples con Retroexcavadora en el yacimiento “Punta Gorda”, poner de manifiesto las ventajas de esta tecnología así como sus limitaciones para la aplicación en los yacimientos lateríticos y demostrar la aplicación del mismo en una zona de alta complejidad del yacimiento.

Para la realización del trabajo se tuvieron en cuenta diferentes etapas como análisis bibliográfico, reconocimiento visual de la zona y del trabajo de los equipos, zonificación del yacimiento atendiendo a sus características geológicas, hidrogeológicas y topográficas, elección de un bloque de alta complejidad en la mineralizaron para realizar el proyecto.

Elección del método de explotación y la tecnología a utilizar.

Descripción de las labores mineras actuales.

El yacimiento Punta Gorda, se encuentra explorado y desarrollado en distintas redes de perforación (400x400), (300x300), (100x100), las cuales se han empleado con buenos resultados, para el estudio de sus reservas y características geológicas para así dar paso a la explotación de dicho yacimiento. Para poner en práctica su exploración detallada, en lo cual se emplea una red de (33.33x33.33 m) con un total de 81 pozos de perforación por cada bloque de 90000 m², en cada pozo se toman muestras con un intervalo de 1m, para determinar los contenidos de Ni, Co, Fe. También se han realizado otros trabajos en este sentido que han llegado a la conclusión que es necesario aplicar una red auxiliar de perforación (16.66x16.66 m) con el objetivo de obtener un mayor conocimiento sobre la distribución de las potencias de escombros y determinar con mayor precisión entre un pozo y otro el contacto escombros – mineral, tratando de no empobrecer el mineral como consecuencia de su mezclado con el escombros (Informe geológico, 1999).



El destape es la actividad que consiste en extraer la capa laterítica níquelífera pobre en níquel ($Ni < 0.9\%$) que generalmente está presente en la zona superior del yacimiento, se considera terminado una vez que se llega a la cota del techo del mineral. El material de destape es depositado en escombreras de forma que permita su futura explotación, esta operación ocasiona uno de los principales volúmenes de trabajo en la actividad minera, originando una



parte importante de las inversiones necesarias para la operación de la mina y ocupa uno de los puntos principales en el costo de la actividad minera.

Los trabajos de destape se deben realizar con antelación a los trabajos de arranque, de esta forma se logra una mejor compactación de los caminos de acceso al bloque y se aseguran las reservas preparadas para poder mantener la productividad de la mina. También esto provoca efectos negativos para el medio ambiente incrementados por los agentes atmosféricos (lluvia, temperatura y aire).

Sistema de explotación actual.

El sistema de explotación se realiza con transporte, en un escalón, con arranque y carga directa mediante excavadora de arrastre al transporte automotor. La dirección de desarrollo de los frentes de trabajo en el plano es en abanico, según las exigencias del plan de producción la dirección del arranque en el perfil es horizontal extrayendo toda la altura de la capa de una vez (Informes técnicos, 1999).

En algunas ocasiones en los frentes de trabajo muy abruptos, utilizan en los primeros escalones el sistema de explotación con arranque y carga directa mediante Retroexcavadora hidráulica a los camiones, para así dar paso a la entrada de la Dragalina de arrastre.

La extracción y transporte es la actividad más importante que se realiza en la mina, consiste en la extracción del mineral y su traslado hasta la planta de recepción y trituración o hasta depósitos interiores que se hacen con el fin de mantener reservas considerables en las proximidades de la planta y homogeneizar el mineral, ésta actividad debe garantizar la producción del volumen de mineral requerido lo que comprende múltiples actividades relacionadas con el aseguramiento de los equipos, su productividad, el mantenimiento de los caminos y otros, además lograr que el mineral suministrado a la planta reúna de forma permanente la calidad requerida en nuestro caso (Ni = 1.32 %, Fe = 38 %, Co = 0.09 %).

La extracción del mineral limonítico y serpentinitico se realiza con las excavadoras andante ESH 5/45 y la transportación se realiza con camiones de capacidad entre 30 y 65 Ton, de las marcas Volvo BM A35C, EUCLID R60, Komatsu. El mineral transportado es vaciado en las tolvas de descarga de mineral, luego los alimentadores de esteras lo trasladan hasta las zarandas en las cuales las partículas menores de 100 mm pasan a las trituradoras de martillo y el resto del mineral pasa a través del cribado cayendo por gravedad a los transportadores.

En la mina han tenido en cuenta requisitos que debe cumplir la extracción del mineral, dentro de ellos tenemos la calidad del mineral y volumen planificado, los valores mínimos de pérdidas y dilución, el drenaje natural del área, condiciones seguras de trabajo para los equipos y personas, etc.

Además se tienen en cuenta las premisas para que se pueda hacer una extracción con calidad y eficiencia, las que podemos citar el conocimiento previo de las características geológicas y minero – técnicas del área de extracción, la correcta planificación y control del flujo de extracción, la utilización el equipo más apropiado y creación de las condiciones para la adaptación de los equipos disponibles y la buena calificación del personal de operación.

Sistema de explotación propuesto y elección del equipamiento a utilizar.

La explotación por bancos se puede realizar en potencias altas, medias, bajas; mineralización continua y discontinua, etc. Este tipo de explotación tiene las limitantes que no es recomendable su utilización donde se quiera lograr una mejor homogeneización en el terreno y en zonas donde hay alta humedad (40 %).

Se deben considerar las diferentes ventajas de los equipos de extracción (Dragalina, Retroexcavadora) para las condiciones específicas de la zona de estudio.



Dentro de las principales ventajas que presenta la Dragalina podemos citar que puede trabajar con cualquier humedad, posibilita la mezcla del mineral; pero debemos resaltar que presenta las limitantes de que cuando hay intercalaciones de gabros no es recomendable su utilización o cuando el relieve es accidentado.

La Retroexcavadora también presenta diferentes ventajas, dentro de ellas tenemos una mayor selectividad, puede trabajar en cualquier tipo de relieve, en cualquier potencia y presenta una alta movilidad.

Esta también tiene sus limitaciones como que no permite la mezcla del mineral en el terreno y donde existe alta humedad no es recomendable su utilización.

Hay que tener en cuenta diferentes criterios para que la explotación por bancos múltiples se realice con eficiencia y calidad. Según estudios realizados con especialistas de la mina Cmdte. Ernesto Che Guevara, estos requerimientos son:

- Yacimientos con pendientes medias y abruptas.
- Baja humedad del mineral.
- Presencia de mineralización continua y discontinua.

Atendiendo a estos criterios y a las diferentes condiciones geológicas, hidrogeológicas y topográficas del yacimiento "Punta Gorda", este se dividió en sectores donde es aplicable y ventajosa la extracción por bancos:

- Sector Suroeste: Presenta baja potencia de mineral, relieve accidentado, poca humedad y poca complejidad en la mineralización, intercalaciones de gabros. Bloques: L-47,48; M-46,47,49,50; N-45,46.
- Sector Noreste: Potencia media, intercalaciones de gabros, mineralización compleja, relieve ondulado y baja humedad. Bloques: T-50, 51, 52.
- Sector Este: Baja potencia de mineral, discontinuidad de la mineralización, baja humedad, presencia de gabros, relieve suave en los bloques Q-53, 54, 55; ondulado y abrupto en los bloques P-53, 54, 55 y N-53, 54, 55.

El resto, presenta mejores condiciones para la extracción con el sistema tradicional (con Dragalina).

Para el estudio se analizó el bloque T-51 por ser de gran complejidad en la mineralización, donde el mismo presenta las siguientes características:

El relieve de este bloque es ondulado con pendientes hacia el norte de un 6%. Desde el punto de vista hidrogeológico este bloque no presenta dificultades en la porción sur, pero la parte norte puede presentar algunas complejidades; la zona presenta condiciones para provocar el drenaje de los frentes por gravedad por medio de canales.

En el bloque existe una gran cantidad de intercalaciones de Gabros en los diferentes niveles. La potencia de mineral tiene un valor medio de 14 m. El mineral fuera de balance del destape está constituido por capas alternas de ocre inestructurales con perdigones y minerales arcillosos con coloraciones desde blanco hasta pardo. Esta última resulta muy parecida a la limonita a simple vista. La humedad de forma general en el bloque es baja.

La altura del banco influye grandemente en el trabajo de la cantera, por ello su determinación correcta es uno de los problemas básicos en su proyección.

Durante su establecimiento se consideran algunos factores como son: condiciones de yacencia, propiedades físico – mecánicas de las rocas, intensidad de explotación, plan calendario de los



trabajos de destape, calidad exigida del mineral, condiciones de trabajo de las Retroexcavadoras y el transporte.

Los taludes de los bancos de trabajo durante la explotación dependen del carácter de la roca, de los métodos de explotación, etc.

Es muy importante considerar las condiciones de yacencia del cuerpo mineral; es preferible que el banco esté representado por rocas homogéneas. Las cotas del techo y el piso del banco deben coincidir en la medida de las posibilidades con los contactos de los diferentes tipos de rocas. También se debe considerar la posibilidad de la extracción selectiva (Bustillo, 1997).

Atendiendo a las condiciones específicas del bloque T-51, el equipamiento a utilizar y los demás factores que influyen en la elección de la altura del banco, se determinó que la misma será de 3 metros con un ángulo de talud de 75°. (Ver Fig. 2)

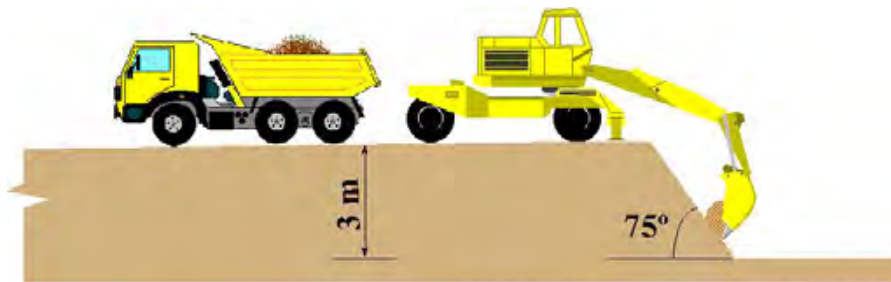


Fig. 2 Parámetros del banco.

Es conocido que la altura del banco influye directamente en la velocidad de desplazamiento de los frentes de excavación, frentes de trabajo y en los plazos de apertura y preparación de nuevos horizontes.

Las velocidades de desplazamiento de los frentes de arranque (V_{fa}) y de trabajo (V_t) se determinan de la siguiente forma:

$$V_{fa} = Q / (A \times h)$$

Donde: Q- Productividad de la Retroexcavadora (325.49 m³/h)

A – Ancho de la banda (10.35)

h - Altura del banco (3 m)

El desarrollo de la cantera se caracteriza por dos direcciones básicas: desplazamiento horizontal de los bancos y profundización de la minería (Polanco, 1977). Cuando la Retroexcavadora termina una banda de trabajo se dirige a la siguiente, como resultado de ello la línea del frente se desplaza con velocidad:

$$V_t = (12 \times Q) / (h \times L)$$

Donde: L- longitud del bloque (300 m)

Con la actividad de desbroce se elimina toda la vegetación existente en la zona de futura minería que particularmente en el bloque T- 51, donde está representada por la *Dracena Cubensis*, el Yuraguano y por variados arbustos e hierbas dispersas en gran parte del bloque. No existen árboles grandes que puedan ser utilizados para otros fines.

Toda la vegetación, es decir, los arbustos, hierbas, pequeñas plantas, etc. que se encuentran en el bloque será arrancada y depositada en áreas marginales de este, pero siempre teniendo en cuenta que no pueda afectar o entorpecer un futuro trabajo minero, además pueden depositarse en el área ya minada del bloque T-50.



Esta operación se realizará con bulldozers, empezando de la parte sur que hay una mayor elevación hacia la parte norte del bloque. El bloque tiene 8 hectáreas, el espesor de la capa a desbrozar es de 30 cm. El desbroce del bloque se realizará en un período de 7-12 días, trabajando 8 horas.

El destape de reservas ocasionará uno de los principales volúmenes de trabajo de la actividad minera en el bloque T- 51, por lo que una buena ó mala selección del equipamiento para realizar este trabajo ha de repercutir positiva ó negativamente en los trabajos económicos de la mina. De manera que el equipo idóneo será aquel que permita armonizar los factores cuantitativos y cualitativos que den como resultado un bajo costo para la mina y una alta calidad en el mineral.

Para el destape del bloque en cuestión (T-51), utilizaremos la Retroexcavadora por la gran aplicación de estos equipos y ventajas con respecto a otros equipos en determinadas condiciones; puede cargar los camiones situados en el nivel inferior o al mismo nivel (Ver Fig. 3), tienen gran posibilidad de distribuir la carga del ultimo cucharón sobre la caja del camión si este tiene que recorrer grandes distancias, evitando así derrame de material, además requiere de poco espacio de trabajo, tiene larga vida útil, tiene cierta movilidad que aventaja a la excavadora ESH 5/45 (Dragalina). La Retroexcavadora tiene gran posibilidad de limpiar la plataforma de trabajo sin la ayuda de equipos auxiliares(Bulldozers), puede apartar grandes bloques de rocas que dificulten las operaciones, tiene la posibilidad de limpiar el área donde se posesionan los camiones, disminuyendo el riesgo de desgaste y costo de neumáticos, pueden remontar pendientes de hasta 45° por su gran empuje de tracción.

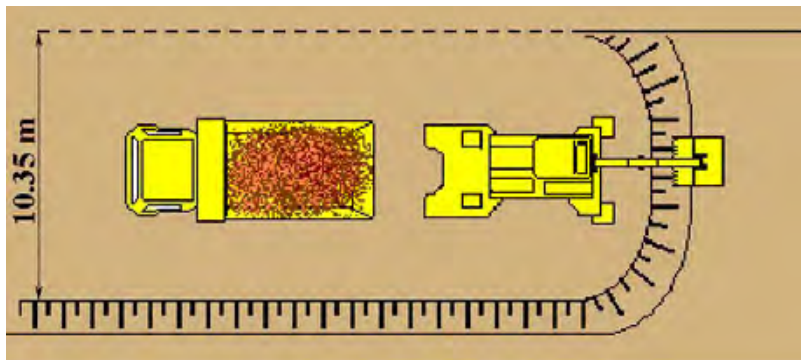


Fig. 3 Sistema de arranque de la Retroexcavadora.

Con la necesidad de utilización de un equipo de transporte para el traslado del material de escombro removido por la Retroexcavadora utilizaremos los camiones articulados.

La elección de este tipo de equipo(camión articulado) es debido a su gran utilización y rendimiento en terrenos difíciles, ya que este equipamiento comparado con el camión rígido con la Retroexcavadora no necesita una preparación tan rigurosa de los caminos de acceso al frente y su combinación han proporcionado grandes productividades en otros yacimientos analizados en la investigación.

Todo el material que es sacado en esta operación será depositado en el bloque S-51 para la posterior rehabilitación de éste.



La extracción del mineral es el objetivo final de toda una serie de trabajos preparatorios y de investigación que se realiza en las diferentes etapas de trabajo en la mina, pues garantiza el proceso metalúrgico, los contenidos y volúmenes necesarios para obtener el producto final. Para la extracción del bloque T-51 se utiliza el mismo equipamiento propuesto para el destape, es decir, Retroexcavadora Volvo EC650 con camiones Volvo BM A35C.

Valoración económica.

La valoración económica se realizó con el objetivo de determinar la factibilidad económica de la tecnología propuesta al comparar el costo de producción de una tonelada de mineral extraído con la tecnología excavadora – camión. Para el cálculo del costo de producción de una tonelada de mineral con la tecnología propuesta se tuvo en cuenta los elementos de gasto (salarios, amortización de equipos, gastos por consumo de combustible, mantenimiento y reparaciones) en las dos actividades fundamentales del proceso de producción en la mina (destape, extracción y transporte).

Se realizaron diferentes cálculos económicos donde se tuvieron en cuenta los gastos en las diferentes operaciones, donde tenemos los gastos por concepto de salarios, seguridad social, amortización de equipos, consumo de combustible (Diesel), mantenimiento y reparaciones, etc.

De los diferentes análisis económicos realizados se derivó que el costo de una tonelada de mineral extraído teniendo en cuenta la tecnología utilizada actualmente es de 1.13 \$ / t y que el costo de una tonelada de mineral extraído teniendo en cuenta la tecnología propuesta es de 0.81 \$ / t, por lo que una vez analizado el costo unitario de ambas tecnologías se evidencia que la tecnología de explotación Retroexcavadora – camión es más recomendable que el sistema excavadora – camión.

Conclusiones

1. La extracción por bancos múltiples con Retroexcavadora tiene su campo de aplicación en los yacimientos de lateritas niquelíferas de la región oriental; donde resulta ventajoso para determinadas condiciones geólogo – mineras presentes en los mismos.
2. La alta selectividad de la extracción con Retroexcavadora permite la extracción del mineral útil en las áreas donde existen intercalaciones de rocas básicas como es el caso del bloque T-51.
3. En el yacimiento “Punta Gorda” así como en los circundantes existen áreas con relieve abrupto, con intercalaciones de estériles y buenas condiciones de drenaje donde se debe emplear la extracción por bancos múltiples para obtener una mayor recuperación y una mejor calidad del mineral extraído.
4. Queda demostrado que el sistema de explotación con Retroexcavadora y camión es menos costoso que el sistema con Excavadora y camión.

Referencias Bibliográficas

Polanco, R. Diseño de canteras. 1997.

Bustillo, M.; Jimeno, C. 1997. Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Madrid. 705 p.



Informes geológicos.1999. Sub- Dirección de minas “ Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara”.

Informes técnicos.1999. Sub- Dirección de minas “ Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara”.

Vera, A. 1979. Introducción a los yacimientos de Níquel de Cuba. Ciudad de la habana, Cuba: Orbe, 213 p.



TECNOLOGÍA DE EXTRACCIÓN DE PRECISIÓN

Dr. Santiago Bernal Hernández⁽¹⁾, Dr. Rafael Trujillo Codorniu⁽²⁾

(1) Centro de Investigaciones del Níquel. Moa Holguín. Cuba

(2) Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa Holguín. Cuba. E-mail: rtrujillo@info.ismm.edu.cu

RESUMEN

Al aumentar las exigencias al aumento de producción, calidad del producto, eficiencia económica, protección de la naturaleza adquiere actualidad la extracción completa de las reservas y el abastecimiento fiable y estable de la calidad del flujo de menas abastecido a la fábrica; lo que es logrado con la tecnología de extracción de precisión.

Los métodos de pronósticos de la misma ofrecen con errores despreciables: los contenidos industriales de los elementos controlados por puntos o para cualquier volumen determinado; cuerpos minerales; direcciones de desarrollo de los trabajos tales como la de fácil y difícil confirmación de las reservas, la de abastecimiento al almacén de homogeneización y directo al proceso y el parámetro que caracteriza la capacidad de la mena de estabilizarse lo que permite dirigir las transformaciones de calidad que tienen lugar en la unión de los flujos de los distintos frentes y en el almacén para lograr la estabilización; las dimensiones, forma y orientación del frente de arranque.

El nuevo método de planificación garantiza la extracción completa de los metales del subsuelo y considera las especificidades de la nueva tecnología la que permite incrementar los volúmenes de reservas listas y disminuir los trabajos preparatorios con respecto a la de pozo su implementación en mina Martí permitió aumentar la estabilidad y los contenidos de los componentes útiles en el flujo de menas abastecidos en 20-25%, una recuperación de reservas de 25-30% la que se incrementa con el aumento de la variabilidad.

ABSTRACT

When increasing the demands to the production increase, quality of the product, economic efficiency, protection of the nature, the complete extraction of the resources and the reliable and stable supply of the quality of the flow of fewer supplied to the factory acquire actuality; what it is achieved with the technology of precision extraction.

The forecast methods of the same one, offer with worthless errors: the industrial contents of the elements controlled by points or for any volume calculated; mineral bodies; development directions of the works such as of easy confirmation and difficult confirmation of the resources, the one of supply to the homogenization patio and direct to the process, and the parameter that characterizes the capacity of the ore to be stabilized that allows to direct the transformations of quality that take place in the blending of the flows of the different fronts and in the patio to achieve the stabilization; the dimensions, forma and orientation of the starting front.

The new method of planning guarantees the complete extraction of metals of the underground and it considers the specificities of the new technology the one that allows to increase the volumes of ready reserves and to diminish the preparatory works with regard to the shaft, its implementation in Martí mine allowed to increase the stability and the contents of the useful components in the flow of ore supplied in 20-25%, a recovery of reserves of 25-30% which is increased with the increase of the variability.



Introducción

La considerable variabilidad de la calidad según el contenido de los componentes útiles y perjudiciales en el macizo minero dificulta considerablemente el pronóstico de los índices de calidad de la mena por los métodos tradicionales, esto provoca que el flujo de materia prima mineral que ingresa al proceso metalúrgico tenga una gran oscilación de los componentes, que no permite estabilizar el régimen tecnológico lo que repercute en el aumento de los costos y la disminución de la eficiencia metalúrgica, del volumen y de la calidad del producto final.

Como muestran las investigaciones realizadas por nosotros, la utilización más correcta del yacimiento, la disminución de la afectación al medio ambiente, el aumento de la producción de Ni+Co y de su calidad, de la eficiencia metalúrgica, la operativa así como de la rentabilidad puede ser realizable sobre la base de una tecnología de extracción minera de precisión que sistematice el pronóstico efectivo de la calidad de la mena con la planificación minera y permita la dirección de la homogeneización de forma que garantice la extracción más completa de los metales de la corteza terrestre, el suministro fiable y estable de la calidad de las menas al proceso metalúrgico, así como un gran volumen de reservas listas bien caracterizadas garantizando un abastecimiento ininterrumpido de materia prima mineral.

En estos momentos se aplica una tecnología poco efectiva por pozos, lo que conduce a grandes pérdidas de materia prima mineral y diluciones, la que no determina la dirección racional del desarrollo de los trabajos mineros, ni de su profundización según la calidad y el aprovechamiento completo e integral de las reservas, como de dilución, tal rol tan importante de esta tecnología queda condicionada por la especificidad de las condiciones geólogo- mineras de estos yacimientos. Las que se van haciendo mas complejas en la medida que vamos introduciendo nuevos yacimientos a la explotación.

Breve Descripción de la Tecnología de Extracción por Fosos y sus Ventajas.

El hecho de que el método más efectivo de pronóstico contempla varios pozos de extracción que se encuentran en el interior de la elipse de correlación cuyos parámetros y forma determina el DOPER mediante la geometrización geoestadística optima del mismo, y a tal frente se le denomina FOSO (ver la Fig. 1)

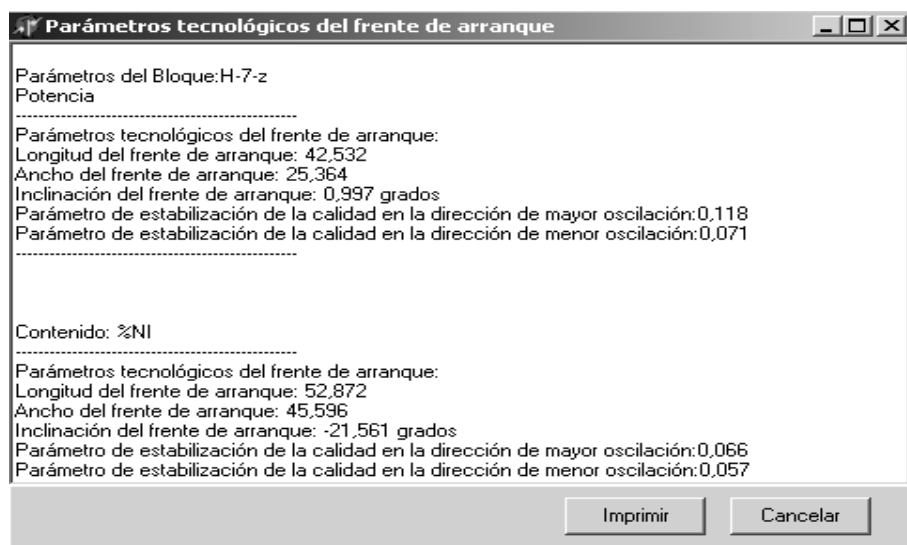


Fig.1 Parámetros del foso de extracción en la dirección operativa de la calidad



Lo que persuade de la conveniencia de que el frente de extracción contemple este mismo número de pozos (los que se encuentran en el interior de la elipse de correlación), (observar la Fig.2)

En estos frentes en forma de sectores de círculos se encuentra ubicada la excavadora, el hecho de que el frente tenga mayores dimensiones tiene múltiples efectos; por un lado eleva la representatividad del pronóstico (contempla mayor número de excavaciones) ya que permite describir la variabilidad en la zona de influencia de los pozos creando las bases para evitar los fenómenos de resonancia de las oscilaciones de la calidad de los flujos de los distintos frentes, fenómeno negativo que se manifiesta en forma de dilución y de no confirmación de las reservas cuando las leyes caen incluso hasta valores por debajo de las exigencias y que el pronóstico por pozos no permite describir y dirigir convenientemente, ya que el en esencia extiende el valor de los elementos muestreados a toda la zona de influencia del pozo ; ni tampoco los métodos de pronóstico que como Krigin se orientan a la media mas insesgada del conjunto de excavaciones.

Por otro lado la productividad del equipo de extracción aumenta, ya que se utilizan a plenitud sus parámetros de trabajo; aumentándose considerablemente el volumen de reservas a planificar, y que son atendidas por una sola excavadora , las mismas se encuentran en forma de reservas listas para ser extraídas, dando la posibilidad de aumentar el número de variantes que se pueden contemplar en la planificación operativa, se elimina la necesidad de tener frentes (bloques) y excavadoras de reservas lo que constituye una ventaja de este tipo de tecnología de extracción así como se disminuye el volumen de los trabajos de preparación, los costos así como por esta misma causa, la afectación al medio ambiente.

El hecho de que las máquinas excavadoras tengan una profundidad máxima de extracción limitada y que puede ser menor que la potencia del cuerpo mineral aconseja sobre la necesidad de delimitar el foso por escalones, los que serán temporales ya que desaparecerán en la medida que se desarrollen los trabajos de extracción.

Siendo los pozos contemplados dentro del foso de diferentes alturas y teniendo diferentes calidades en su perfil, persuaden de la conveniencia de que los escalones que sean determinados presenten alturas variables, EL DOPER da la posibilidad de trazar estos escalones a la altura deseada cumpliéndose con los requisitos de seguridad, posibilitando la recuperación de fondos e incluso extraer reservas que por lo accidentado que se encuentra la superficie de la misma no pudo ser perforado el pozo o se imposibilitaba su extracción; lográndose con la tecnología DOPER por todos estos aspectos señalados anteriormente y en la evaluación en las condiciones de producción incrementos de recuperación de reservas del orden del 25-30% cantidad que se incrementa en la medida que aumenta la variabilidad, de elevación de la ley en el flujo de menas abastecido del 20-25.

Mediante el DOPER es mostrada la dirección conveniente de desarrollo de los trabajos mineros para el abastecimiento de materia prima y para la confirmación de las reservas; la dirección en que se encuentra la mayor relación genética en la mineralización y a los efectos de la inercia la de mayor masa, dirección que según las investigaciones realizadas por nosotros en los yacimientos Vega grande y Grupo VII de Mina Martí es conveniente cuando se va alimentar directo al proceso sin que medie el trabajo del almacén de homogeneización (rotura de las grúas Gantry, periodos prolongados de lluvias en que se agotan las reservas del almacén.), ya que constituye la de mayor estabilidad de los elementos controlados abastecidos al proceso y también siendo la de mayor inercia constituye la dirección de muy difícil confirmación de las



reservas que es conveniente abastecer siguiendo la misma cuando se trabaja en un régimen donde se desea que no se refleje rápidamente la ley del elemento que se desee; (ver

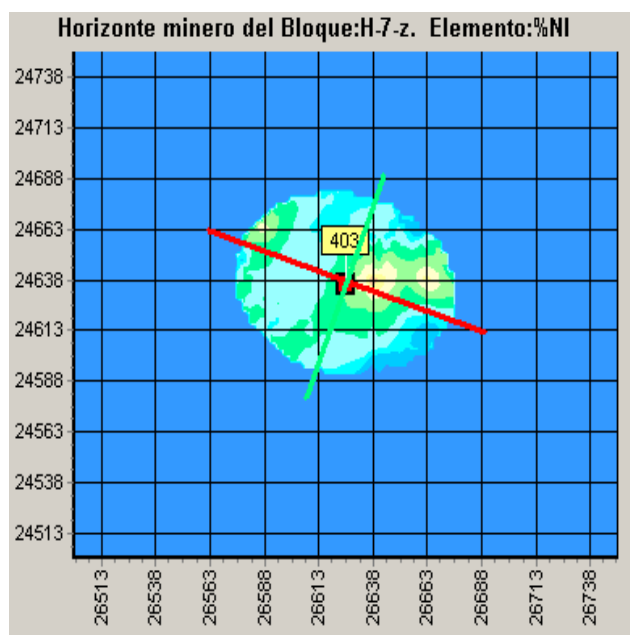


Fig.2)

Fig.2 Dirección de fácil y de difícil confirmación de las reservas

En la Fig.2 se ve la línea roja, la que indica la dirección en que debe laborearse cuando se va a homogeneizar la mena en el almacén y la de más fácil confirmación de las reservas por lo que se emplea cuando se introducen a minería reservas que se desea que se reflejen notablemente en los resultados de la calidad del mineral abastecido en el turno. Así como la verde la de abastecimiento directo y la de mas difícil confirmación de las reservas Este fenómeno se conoce en la literatura como el fenómeno de la inerciabilidad de las leyes en el abastecimiento de menas al consumidor y que al no elegirse convenientemente se manifiesta en forma de no confirmación de las reservas, el cuál es calificado de inevitable [9,13,16 y 18] según las mismas fuentes no se había podido establecer las causas y por lo tanto se calificaba como un proceso espontáneo e indeseable ya que no se podía hasta este momento dirigir.

Nuestras investigaciones han mostrado que en la dirección de fácil confirmación, este fenómeno se manifiesta positivamente cuando se laborean altas leyes, ya que rápidamente se muestran los incrementos , hay menor masa ,si se laborean pozos que en el momento en que se abastecen cumplen con las exigencias del proceso y por el contrario en la dirección de difícil, prácticamente el fenómeno de la inerciabilidad se manifiesta en mayor medida por lo que las leyes de los pozos que se introducen a minería no se reflejan rápidamente constituyendo una dirección propicia para el abastecimiento de los pozos con baja ley o alimentarse para la fábrica metalúrgica, ya que las oscilaciones de la calidad presentan baja frecuencia de oscilación y grandes períodos lo que facilita la estabilidad [1, 5, 9, 10, 19 y 20]; la tecnología establece el parámetro que caracteriza la capacidad que tiene la mena de estabilizarse según estas direcciones α el que permite establecer y dirigir las transformaciones de calidad que tienen lugar cuando se unen los flujos de menas de los diferentes frentes para evitar la resonancia de las leyes ; así como en el almacén dirigir la homogeneización.



De esta manera la tecnología de extracción de precisión por fosos contempla, fosos en la dirección operativa de la calidad de las menas extraídas cuyos parámetros quedan determinados por la geometrización geoestadística óptima del bloque. Otras de las grandes ventajas del laboreo por fosos es la disminución de la afectación al medio ambiente, ya que no se utilizan frentes continuos (laboreo por escalones tradicionales), no hay necesidad de bloques de reservas y por estas causas se afecta la menor área del frente haciéndose un uso más intensivo y completo de las reservas.

Por otro lado sienta las bases para la recuperación de reservas de menas de cuerpos minerales que se encuentran en los fondos y que Doper es capaz de pronosticar, lo que de una forma tradicional se han venido quedando en los bloques laboreados (como por ejemplo en Mina Martí) y la extracción más completa de los pozos.

Disminuye considerablemente el volumen de los trabajos de preparación sobre todo en relieves accidentados ya que las propias excavadoras laboreando en subescalón construyen su propia vía de acceso y sobre todo la de los camiones sin grandes pendientes, o sea permite realizar una transformación conveniente de los perfiles de los caminos temporales a la vez que se extrae.

Sienta las bases para la recuperación de pozos que por la causa anteriormente señalada no se pudieron perforar e incluso parte de las reservas de los pozos que han sido declarados fuera de balance por níquel.

Todas estas ventajas de la tecnología de extracción por foso se pone de manifiesto gracias a las bondades que ofrece el DOPER incluso se hace imposible explotar un foso con eficiencia por el método de pronóstico de la cuadrícula de Minería.

En su diseño esta tecnología considera la instalación de sensores, GPS, computadoras a bordo y red de transmisión para lograr la dirección operativa de los trabajos de extracción desde la oficina de la dirección técnica de la mina y que el operador pueda visualizar en el display a bordo de su máquina el planeamiento minero del turno, el frente de extracción y el mapa de calidad contemplando la que se extrae en un momento cualquiera con el cubo de su excavadora y la actualización de sus resultados en el tiempo transcurrido.

Conclusiones.

La Tecnología de Extracción de precisión ofrece todos los recursos necesarios para el trabajo exitoso tanto en la tecnología de extracción por pozos como por fosos, en la explotación de los yacimientos lateríticos; no obstante los fosos constituyen el escenario tecnológico que sirve de fundamento idóneo a la extracción de precisión y apta para asimilar las instalación de sensores estaciones de GPS, computadoras de a bordo y red de transmisión.

Los parámetros de la tecnología de extracción de precisión por fosos en la dirección operativa de la calidad, tales como dimensiones del frente de arranque, su orientación y forma son determinados por la geometrización geoestadística óptima de los bloques de minería o del grupo de excavaciones sometidas a explotación a través del DOPER

Esta tecnología permite recuperar reservas en el orden del 25-30 % superior a la que se realiza por pozos a costa de la geometrización geoestadística óptima de los pozos declarados no minerales, fuera de balance no perforados y recuperación de cuerpos minerales que son pronosticados en los fondos, así como por la explotación de pozos en relieves complejos.



La tecnología aumenta las leyes en el orden del 20-25 % durante la explotación de los bloques mineros en relación con la tecnología de pozos, ya que permite el aumento de la representatividad del pronóstico de la calidad y por lo tanto una planificación de los trabajos mineros que además de los puntos de vista tradicionales permite considerar las direcciones de desarrollo de los trabajos mineros para la estabilización y confirmación de las reservas.

Permite disminuir los trabajos de preparación a cuenta de permitir realizar la extracción simultánea de varios pozos y la explotación de paso mediante la cual los propios equipos de extracción durante las labores de arranque preparan sus caminos y las vías donde se desplaza el transporte automotor incluso con la pendiente necesaria para posibilitar su drenaje en los días de intensas lluvias.

Disminuye además la afectación al medio ambiente, debido a un uso más intensivo de las reservas, al permitir extraer prácticamente todas las reservas de baja ley que entran en el balance, no necesita frentes de extracción de reservas, lo que disminuye las áreas denudadas, lo que es típico de la tecnología de extracción por pozos y por eso mismo disminuir sensiblemente los costos de producción.

La Tecnología de extracción de precisión por fosos en la dirección operativa de la calidad revela parámetros tales como el que rige la capacidad que tiene el mineral de estabilizarse α , el cual permite dirigir los procesos de estabilización de la calidad de las menas que son abastecidas al proceso metalúrgico tanto en las transformaciones de calidad que tienen lugar en la unión de los flujos producto de la extracción en los distintos frentes como en el almacén de homogeneización evitando los fenómenos de resonancia de las oscilaciones de calidad que conducen a diluciones y a la no confirmación de las reservas; cuestión que se realiza por primera vez en este tipo de yacimiento.

Referencias bibliográficas

1. Abramov. B.E, Azbil E.I y otros. Planificación de experimento y pronóstico de la calidad de la mena en las empresas mineras. *Novosibirsk, Ciencias, 1989.*
2. Agovkov M.I Fundamentos científicos de la valoración de las consecuencias económicas de las pérdidas de minerales útiles. *Moscú Edit. del Instituto de Física de la Tierra. A.C.URSS, 1990.*
3. Agowkov M.I. Índices Fundamentales de la extracción completa y de la calidad de los minerales útiles de la corteza terrestre. *Editorial Niedra, 1994.*
4. Azbil E.I. Homogenización de las menas en el régimen de carga de las tolvas. Nuevas investigaciones en la metalurgia ferrosa y el beneficio. *Trabajos científicos. Leningrado. Editorial Instituto de Minas ed Leningrado, 1999 pag. 51-62.*
5. Arsentiev A.I. Apertura y sistema de Explotación de los campos de cantera. Moscú, Niedra, 1981.
6. Arseniev S.Y. y otros. Homogenización interna de la cantera de las menas ferrosas. *Moscú, Niedra. 1980.*
7. Arseniev S.Y. y otros. Planificación operativa de los trabajos de extracción en las canteras en el régimen de homogeneización. *Revista Minera, 1996.*
8. Astatiev Y.P. y otros. Computadoras y Sistemas de Dirección para la Industria Minera en el extranjero. *Moscú, Niedra, 1981.*
9. Bastan P.P., Azbil E.I. Teoría y práctica de la homogeneización de las menas. *Moscú, Niedra, 1996.*
10. Bernal H. S. Tesis de opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, *Instituto de Minas de Leningrado. 1989.*
11. Bernal H. S. Aumento de la calidad de las menas extraídas y de la recuperación de reservas en los yacimientos lateríticos mediante el sistema DOPER. *Centro de Investigaciones de la Laterita. Moa. 1998.*



12. Reshevsky V.V. Trabajos mineros a cielo abierto. *Editorial Nedra, Moscú, 1996.*
13. Reshevsky V.V. Proyección, Planificación y Dirección de la Producción en las canteras por medio de máquinas computadoras. *Nedra, 1986.*
14. Radionov D.A. y otros, Manual de los métodos matemáticos de la Geología. *Moscú, Nedra, 1987.*
15. Gerstel A.W. Bed Glending theory . *Ser bulk. Mater Handl. 1 N5. 1975 –1977.*
16. Kaas I.M. Impact of advancement in computer Technology – in. *Computer Methods for the 90's in the mineral industry. New York, 1999.*
17. Madge D.N. Trends in the use of computers in the mineral Industry in the 1980's – *CIM Bulletin, 1979, N 810 p 77 – 81.*
18. Royler A.G. Practical Introduction to geostatistics. *Dept. Mining and Mineral Sciences Leeds, England, 1991.*
19. Serra I., Avijbregts Ch., Ivanier L. Law of linear homogenisation in the ore stock yards. *Proc XI International Mineral Processing Congress. Kuly, 1975. P 665 – 680.*
20. Tupper I.E. A strategy for Mine computerization. *CIM Bulletin, 1992, 75 N 848. P 49 – 51.*



DEFINICIÓN DE REDES RACIONALES EXPLORACIÓN EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS USANDO PROCEDIMIENTOS CONJUNTOS DE ESTIMACIÓN Y SIMULACIÓN GEOESTADÍSTICA.

José Quintín Cuador Gil⁽¹⁾, Elmidio Estévez Cruz⁽¹⁾, Waldo Lavaut Copa⁽²⁾.

(1) Departamento de Informática, Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba, E-mail: cuador@eco.upr.edu.cu

(2) Empresa Geominera de Oriente, Alturas de San Juan Km 2½, Stgo. de Cuba, Cuba, E-mail: wlavaut@geom.stg.minbas.cu

RESUMEN

Uno de los problemas de más frecuente discusión entre especialistas relacionados con la industria del níquel es la definición de redes racionales de exploración. El uso de las redes de exploración estándar a conllevado a la no-confirmación de las reservas y la explotación irracional de estos recursos.

Desde el punto de vista geoestadístico, uno de los criterios más usado es el error porcentual que incluye la varianza de krigeaje. Dado el carácter puramente geométrico de este termino y la alta variabilidad presente en los parámetros geólogo – industriales de los yacimientos lateríticos se decide abandonar el mismo y utilizar otro más real al proponer posibles valores reales a partir de las bondades de la simulación geoestadística.

La simulación garantiza una realización del parámetro estudiado con iguales características de dispersión que los datos originales, considerándose representativa del comportamiento real del mismo. Este proceso puede y debe ser verificado, lo que permite plantear que los resultados obtenidos utilizando una simulación son equivalentes a los esperados si se contara con los valores reales. Utilizando procedimientos conjuntos de estimación y simulación es posible obtener redes racionales de exploración a partir de la construcción de gráficos del espaciamiento de la red contra el por ciento de bloques estimados con error inferior a una categoría de reserva dada. En este trabajo se obtiene y aplica una secuencia metodológica para la definición de redes racionales de exploración, tomando como ejemplo las variables níquel y potencia mineral del bloque experimental O48 del yacimiento Punta Gorda del noreste de Holguín.

ABSTRACT

One of the most frequent problems of discussion by the specialists related with the nickel industry is the definition of rational exploration grid. The use of the standard exploration grid has been related with the no – confirmation problems of the resources estimation and consequently with the irrational exploitation of these resources.

From the geostatistical point of view, the error that included the kriging variance is one of the criteria more used. Due to the geometric character of this term and the high spatial variability of the geologic - industrial parameters in the Cuban lateritic mineral deposits we decided not to use this criterion. It is better to use more real way using the geostatistic simulation methods in order to provide possible real values and simulate the exploration process.

The geostatistic simulation shows a realization of the parameter studied with same dispersion characteristic that the original data. This simulation is considered representative of the real behavior of the original data. This process can and should be verified, which allows to be sure that the results obtained with one simulation is like the results expected if the real values were known. It is possible to obtain rational exploration grid by combining estimation and simulation procedures. The plotting of graphics of the grid spacing versus percent of the block estimated with error less than permissible one for proven resources (10%) gives the more complete idea about the rational exploration grid. Methodological considerations to the definition of exploration sampling grid using geostatistic simulation are the main



objective of the present work. An experimental sector of the Punta Gorda lateritic mineral deposit from the eastern Cuba is taking as a case study.

Introducción

Un tema de frecuente estudio y opiniones discrepantes entre especialistas relacionados con la explotación de los yacimientos lateríticos cubanos es el de redes racionales de exploración (Vera, 1979). Varios han sido los autores que han expresados sus valiosos criterios en relación con el tema debido al incremento de las pérdidas y empobrecimiento en el proceso de extracción, los cuales han sido ampliamente abordados en Vera (2001).

Los resultados fundamentales han estado centrados en la aplicación de métodos analíticos, de ramificación o enrarecimiento, de comparación de resultados de la exploración con los de la explotación y el estadístico usando el coeficiente de variación y el método de Pearson, para el cálculo de redes óptimas. En todos los casos se obtiene que la potencia mineral es el parámetro más variable. En algunos casos prácticos se plantea que la red actual de 33.33x33.33 m asegura la confiabilidad deseada otros no presentan una propuesta de densidad de red.

Una investigación importante relacionada con procedimientos para la determinación de redes racionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa fue desarrollada por Vera (2001). En esta investigación se utilizan las bondades de los métodos geoestadísticos para la definición de redes racionales de exploración. Aún cuando se obtienen resultados importantes tiene la limitación que conlleva el uso de la varianza de krigeaje, debido al carácter puramente geométrico de este término ante yacimientos con alta variabilidad espacial en el comportamiento de sus parámetros geólogo - industriales. El mismo puede ser completado con la idea de buscar cuál es la red de exploración para la cual los valores de la varianza de krigeaje satisfacen criterios prácticos, criterios que deben estar en función de las características de continuidad espacial reveladas de los datos disponibles, del tamaño de los bloques de estimación y de la experiencia práctica en cada yacimiento (Chica, 2002).

En el presente trabajo se presentan una nueva secuencia metodológica para la definición de redes racionales de exploración en yacimientos lateríticos cubanos, a partir del de las bondades que ofrece la simulación geoestadística tomando como caso de estudio del yacimiento Punta Gorda del noreste de Holguín.

Generalidades sobre la Geología en la región del yacimiento Punta Gorda

Antes de comenzar un análisis del comportamiento de la variabilidad espacial de los parámetros geólogo - industriales es necesario discutir todos los elementos que aporten conocimiento sobre el modelo geológico del área de estudio. La región del yacimiento Punta Gorda constituye una porción del macizo Moa – Baracoa con amplia propagación de rocas ofiolíticas (Lavaut, 1998) que ocupa un área de unos 6.5 km² (Vera, 2001). La características geológicas de este macizo ampliamente descritas en Lavaut (1998) unido con la coincidencia de varios factores como: las condiciones climáticas favorables al intemperismo en el área del Caribe, incluida Cuba, desde el Cretácico Superior (post – Campaniano) y la prolongada estabilidad tectónica de estos territorios ofiolíticos ha dado lugar a vastos y potentes yacimientos. El área patrón de estudio de estudio del presente trabajo es el bloque O48, que abarcan un área de 300x300 m² ubicada en la parte central del yacimiento. Está integrado por rocas puramente ultramáficas. La corteza de intemperismo en el sector tiene carácter eluvial “in situ” según se ha podido



comprobar por los testigos de perforación hecha por redes detalladas (33.33 x 33.33 m, 16.67 x 16.67 m y 8.33 x 8.33 m) y excavación mineral. Esta área patrón no presenta sedimentos redepositados los cuales en su área de existencia han sido ya escombreados y no representan un elemento importante de la geología actual del yacimiento.

Podemos concluir que los yacimientos lateríticos en corteza de intemperismo de la región nororiental de Cuba, particularmente el yacimiento Punta Gorda, son muy complejos geológica y estructuralmente, lo que hace que sus parámetros geólogo - industriales sean extremadamente variables espacialmente. Lo anterior se evidencia en los siguientes elementos:

- ◆ Existencia de variedades de rocas madres con diferente resistencia a los procesos de meteorización (desigual distribución espacial de materiales blandos, duros y semiduros)
- ◆ Existencia de grietas, fallas y exfoliaciones en las rocas madres.
- ◆ Naturaleza metasomática de los procesos de intemperismo.
- ◆ La estructura litológica variable de la corteza de intemperismo (existencia de diferentes tipos de perfiles de intemperismo), lo que condiciona variaciones en la estructura del campo mineral.
- ◆ Diferentes condiciones geomorfológicas, hidrogeoquímicas y microclimáticas.

Secuencia metodológica para la obtención de redes racionales de exploración

Para la definición de redes racionales de exploración se debe desarrollar una red básica característica de cada depósito. Esta red debe ofrecer la suficiente representatividad para la obtención de los semivariogramas y para el procesamiento confiable de la simulación geoestadística. El estudio geoestadístico de la simulación reproduce las características de dispersión de los datos disponibles (Cuador y Quintero, 2001), así se predicen las fluctuaciones presentes en la práctica a partir de la variabilidad espacial revelada de los parámetros en estudio. Mediante este procedimiento se eleva el grado de estudio del depósito sin la necesidad de nuevas perforaciones, desarrollando una red teórica más densa que la básica, hasta lograr el nivel de error y probabilidad estipulado para cada categoría de recurso o reserva. Una secuencia metodológica para la obtención de redes racionales de exploración en yacimientos lateríticos puede ser dividida en los siguientes pasos:

1.- Partir de una red básica. La red básica puede ser obtenida utilizando métodos de la estadística clásica. En la literatura de búsqueda y exploración de yacimientos minerales se presentan metodologías para la determinación del número de pozos a desarrollar (Lepin y Ariosa, 1986). Una posibilidad es partir de la información obtenida en los estadios de exploración y exploración preliminar y desarrollar perforaciones en crucetas con poco espaciamiento entre los pozos (4 m para el caso de yacimientos lateríticos con una cantidad en cada dirección no menor de 10) en una zona geológicamente representativa del depósito. Esto permite revelar las características de variabilidad y correlación espacial a pequeñas distancias, es decir, la continuidad en el origen y la existencia de anisotropía el plano de la mineralización.

2.- Desarrollar el estudio geoestadístico de análisis exploratorio de datos y análisis estructural con la información obtenida en el primer paso, obteniéndose los semivariogramas representativos de la continuidad espacial de la zona del yacimiento en proceso.

3.- Generar simulaciones a partir de las características de continuidad espacial del paso anterior, en una red densa (puede utilizarse 1x1 m) que permita caracterizar los parámetros geólogos - industriales con elevado nivel de detalle.

4.- Buscar por el método de los promedios móviles, los valores medios de bloques de tamaño



igual a la unidad de selección minera a utilizar de acuerdo al grado de estudio buscado. Aquí es posible definir una unidad menor que conlleve a un mayor grado de conocimiento de las reservas a escala local, lo cual es una consecuencia del presente estudio a través del uso de la simulación.

5.- Construir la gráfica de espaciamiento de la red contra el por ciento de bloques estimados con error inferior al permisible para cada categoría (10% para la categoría de reservas probada y 20% para la categoría de probable), es decir, nomogramas. Ajustar una curva teórica a los puntos del nomograma y obtener la ecuación correspondiente.

6.- Encontrar por medio de la curva ajustada en el paso anterior la red que cumple los requisitos de la tarea técnica (reservas probada o probables y recurso). Esta sería la red que determina las reservas y recursos en la categoría correspondiente, cumpliendo con las normas exigidas, pero con un soporte igual a la unidad de selección minera a utilizar.

Obtención de redes racionales de exploración en el bloque O48

El procedimiento se desarrolla sobre las variables níquel y potencia mineral del bloque O48, los cuales representan los parámetros de mayor interés y el más variable, respectivamente. Los modelos de variabilidad y correlación espacial obtenidos a partir de 1262 muestras son:

Níquel: $G(h) = 0.024 \text{ Exp}(3.5) + 0.003 \text{ Sph}(50) + 0.005 \text{ Sph}(225)$

Potencia Mineral: $G(h) = 15.00 + 6.00 \text{ Sph}(25) + 7.72 \text{ Sph}(240)$

Se generó una simulación para cada variable usando la librería Geoestadística GsLib (Deutsch y Journel, 1998). Antes de proceder a utilizar los valores de la simulación, se debe justificar la veracidad de la misma, para lo cual se verificó que la estadística básica de los valores reales y simulados coincide. Además, se comprobó que el gráfico de dispersión entre los valores reales y simulados muestra buena correlación en ambos casos y que los semivariogramas experimentales calculados sobre los valores simulados describen la variabilidad de los datos originales. Por todo lo antes explicado se puede plantear que la simulación obtenida puede ser considerada representativa de la realidad que se estudia y los resultados obtenidos utilizando una simulación son similares a los esperados si se contara con los valores reales del yacimiento.

Para proponer posibles valores reales representativos, se tomaron los valores medios de las simulaciones obtenidas en la red de 1x1m, incluidos en el interior de bloques de 8x8m, utilizando el procedimiento de promedio móviles. Los valores obtenidos se proponen como reales. A continuación se exploró la simulación para obtener redes de 8x8 m, 16x16 m, 24x24 m y 32x32 m de forma puntual. Utilizando el procedimiento Krigeaje Ordinario de Bloques se estimaron los valores de las variables analizadas en la misma red donde fueron propuestos valores reales, realizándose la comparación. En la tabla I se representa el por ciento de bloques estimados con un error inferior al 10% para cada red y variable estudiada, utilizando valores puntuales en la estimación, (el 10% es el error permisible exigido para los recursos probados).

Tabla I. Estimación usando valores puntuales.

Variable	Red 32x32 (m)	Red 24x24 (m)	Red 16x16 (m)	Red 8x8 (m)
Níquel	82.26	84.85	88.94	95.51
Potencia	37.35	38.73	40.82	53.01



A partir del resultado anterior y con el objetivo de mejorar las estimaciones, se considera apropiado realizar un cambio de soporte en la observación. En la práctica es imposible realizar un barrenos con dimensiones superiores a la de los pozos de perforación, pero a través de la simulación este proceso se puede simular. Se exploró la simulación en redes de 8x8 m, 16x16 m, 24x24 m y 32x32 m pero esta vez promediando los valores simulados entorno a los puntos de la red de estimación. Los resultados de la estimación y la comparación los posibles valores reales propuestos se presenta en la tabla II, donde de igual modo se muestra el por ciento de bloques estimados con error inferior al 10% para cada red y variable estudiada.

Tabla II. Estimación usando cambio de soporte.

Variable	Red 32x32 (m)	Red 24x24 (m)	Red 16x16 (m)	Red 8x8 (m)
Níquel	84.86	87.58	91.84	100.00
Potencia	41.05	46.86	57.64	87.58

A partir de los resultados de esta tabla se demuestra que en el caso de la variable Ni, para todas las redes, se obtiene un alto por ciento de los bloques estimados con error permisible inferior al 10%. Considerando ahora, la tabla de clasificación de reservas de Deah y Davis (Annels, 1991) y ajustando ésta a las normas establecidas al efecto para los recursos y reservas (ONRM, 1999), se puede apreciar que en las estimaciones de la variable Ni se supera suficientemente el 80% de los bloques estimados con error inferior al permitido para reservas probadas. Esto indica que la red racional para esta variable puede ser mayor que la red de exploración detallada realizada actualmente en los yacimientos lateríticos cubanos. Sin embargo, para el parámetro potencia no se satisface la condición para las redes de 32x32 m, 24x24 m y 16x16 m, siendo satisfecha solamente para la red más densa, lo que permite inferir que la red racional para la determinación de este parámetro (parámetro que define el tonelaje de mena) es de un espaciamiento ligeramente superior a 8x8 m. Lo anterior es un índice de la posibilidad que brinda el cambio de soporte para la caracterización de los contenidos tratados.

En ambos casos es posible obtener, a partir de los resultados anteriores, el espaciamiento de los pozos de perforación si construimos un gráfico del espaciamiento de la red contra el por ciento de bloques estimados con error inferior al establecido para la categoría de reservas que se desee (probadas o probables). Esto permite proponer un nuevo método para la definición de redes racionales de exploración utilizando las ventajas que brinda la simulación geoestadística de variables regionalizadas.

En la figura 1 se presentan los nomogramas obtenidos para las variables níquel y potencia. En las figuras 1 (a y b) se muestran los resultados relacionados con la estimación utilizando valores puntuales obtenidos de la simulación, y en las figuras 1 (c y d), cuando se realiza el cambio de soporte. Se puede observar que para el níquel, en los dos casos, se garantiza más de un 80% de bloques estimados con error inferior al 10%, lo que permite plantear que la red racional para esta variable tiene un espaciamiento superior a la red actual de 33.33x33.33 m. Es posible obtener la red racional para los límites de error establecidos a partir de la curva potencial ajustada en cada caso. En la figura 1(a) la red puede tener un espaciamiento de 40.25 m y en la figura 1(c) de 51.85 m. Esto demuestra que los contenidos en este bloque pueden ser determinados suficientemente con la red de exploración detallada de 33.33x33.33 m en bloques de tamaño 8.33x8.33 m.



Ahora, para la potencia mineral no es posible obtener una red racional utilizando valores puntuales en la estimación, sólo haciendo un cambio de soporte se puede lograr una red racional ligeramente superior a las dimensiones de los bloques de estimación. La red racional para este parámetro puede ser obtenida de la curva ajustada en la figura 1(d), la cual es de 9.22x9.22 m. Esto reafirma la alta variabilidad de la potencia y la necesidad de buscar soluciones para su determinación, soluciones que no pueden ser encontradas a partir de la información de geoquímica de pozos, debido a que una red con estas características sería extremadamente costosa. En este sentido consideramos que se debe incrementar los trabajos de Geofísica con el objetivo de caracterizar este parámetro, para lo cual ya existen trabajos realizados en la esfera internacional (Peric, 1981), (Queen y Parkinson, 1998), (Francké y Parkinson, 1999) y el ámbito nacional (Mondelo y Acosta, 1998), (Acosta y Dussac, 1999), (Hernández, 1999), además de resultados y experiencias por especialistas de otras instituciones nacionales.

Conclusiones

El uso de la simulación geoestadística permite proponer una secuencia metodológica para el desarrollo de un nuevo método de obtención de redes racionales de exploración en yacimientos lateríticos. Los resultados obtenidos a partir de una de las simulaciones para cada variable estudiada, al ser realizaciones con iguales características de variabilidad y correlación espacial que las de los datos originales, permiten asegurar que éstos serían los mismos resultados que se obtendrían si se contara con los datos reales. La exploración geológica racional a aplicar durante la prospección ha de definirse sobre la base de una red de perforación operativa, complementada con mediciones geofísicas en el espacio inter-red, hasta la conformación de un tamaño óptimo.

Referencias bibliográficas

- Acosta, J. y Dussac, O., 1999, Sondeo eléctrico vertical de polarización inducida. Informe, EGMO.
- Annels, A.E., 1991, Mineral Deposit Evaluation, Practical Approach, Chapman & Hall, 431p.
- Cuador Gil, J. Q. y Quintero, A., 2001, Simulación condicional de variables regionalizadas y su aplicación al comportamiento de la porosidad efectiva en un yacimiento fracturado – poroso, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LIV, pp 19-27.
- Francké, J.C., and Parkinson, G.J., 1999, The new Role of Geophysics in Nickel Lateritics Exploration and Development.
- Hernández, A., 1999, Tarea No.2 del tema de lateritas, geofísica de superficie, sondeo eléctrico vertical de polarización inducida, Informe, EGMO.
- Lavaut Copa, W., 1998, Tendencias geológicas del intemperismo de las rocas ultramáficas en Cuba Oriental. Minería y Geología No. 15, pág. 9-16.
- Lavaut Copa, W., 2000, Sobre el Estudio Preliminar de las Redes de Perforación y Muestreo para el Cálculo del Mineral Laterítico. EGMO, Santiago de Cuba.
- Lepin, O. V., and Arios, J. D., 1986, Búsqueda, Exploración y Evaluación Geológica Económica de Yacimientos Minerales Sólidos, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p.
- Mondelo, F., y Acosta, J., 1998, Exploración detallada Camarioca Este. Informe, EGMO.
- ONRM, 1999, Clasificación de los recursos y reservas de minerales útiles sólidos, Ministerio de la Industria Básica, Oficina Nacional de Recursos Minerales, Dirección de Documentación, Ciudad Habana.
- ONU, 1996, Marco Internacional de las Naciones Unidas Para la Clasificación de Reservas/Recursos, Combustibles Sólidos y Sustancias Minerales, Versión Definitiva. Establecida y Presentada por el Equipo Especial de las Naciones Unidas. p. 77-88.
- Peric, M., 1981, Exploration of Burundi Nickeliferous Lateritic by Electrical Methods, Geophysical Prospecting, 29, pp 274-287.



Queen, L.D., and Parkinson, G.J., 1998, The Integration of Ground Penetrating Radar in Resource Delimitation for Nickel Lateritics in Papua New Guinea.

Vera Saldinas, O., Legrá Lobaina, A. y Medina Arce, M., 2001, Principios Básicos para la Obtención de Redes Racionales en la Exploración de los Yacimientos Lateríticos Cubanos, Vol. XVII, No. 1, p 89-95.

Vera Saldinas, O., 2001, Procedimientos para la Racionalización de Redes en la Exploración de los Yacimientos lateríticos Cubanos. [Tesis Doctoral], ISMM, Moa, Holguín.

Vera Yeste, A., 1979 Introducción a los Yacimientos de Níquel Cubanos, Editorial ORBE, Ciudad de la Habana.

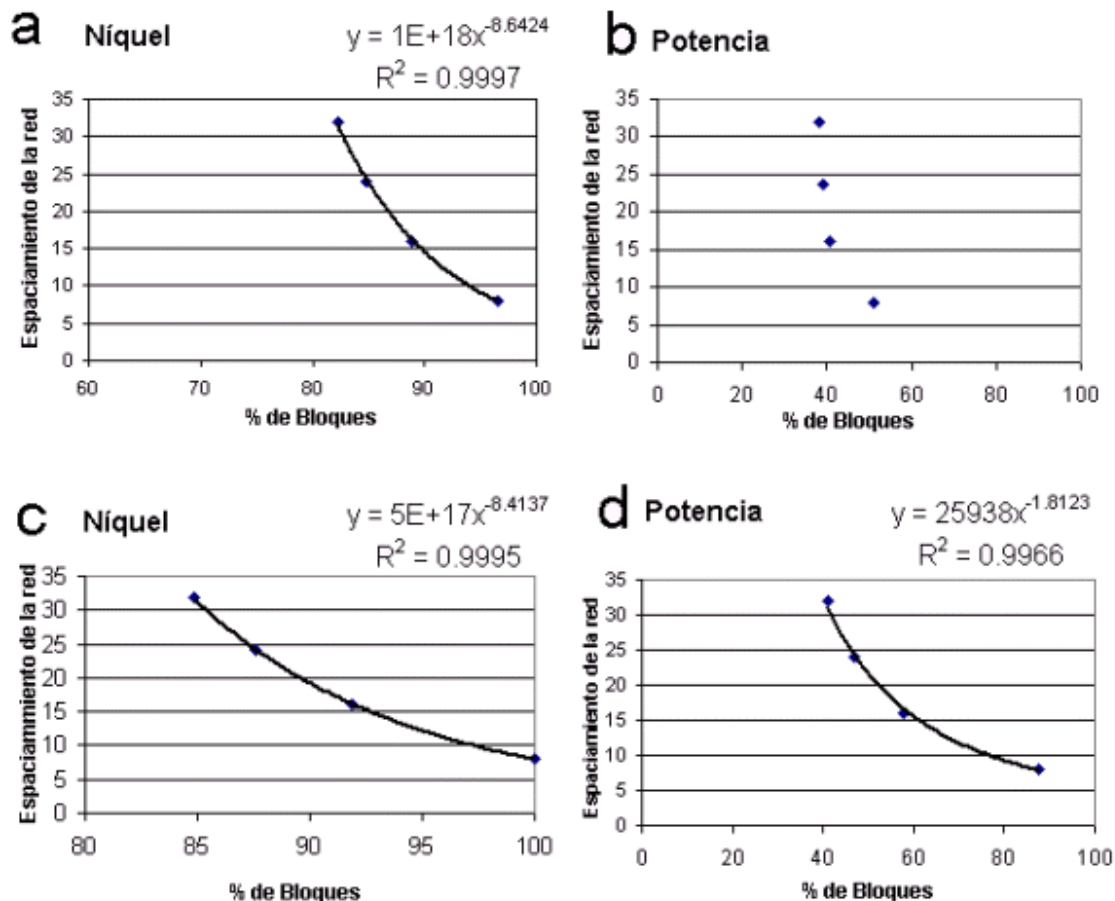


Figura 1. Nomogramas para las variables níquel y potencia mineral, bloque O48.



APLICACIÓN DEL CRITERIO DE NÍQUEL EQUIVALENTE EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE MINERALES LATERÍTICOS.

Wilfredo de la Guardia R. Jorge Luis Urra Abraira.

Pedro Sotto Alba, Moa Nickel S.A. Calle refugio # 70 Reparto Pueblo Nuevo Moa, Holguín.

Telf. (53) 24 62536 Fax (53) 24 62087 E-mail: Aromero@Moanickel.com.cu

wdelaguardia@moanickel.com.cu

RESUMEN

Las compañías mineras líderes mundiales actualmente trabajan en la búsqueda de métodos de estimación de recursos y reservas que ofrezcan resultados cada vez más confiables, aplicando conceptos más racionales que permitan incrementar la vida útil de los yacimientos.

Históricamente en la empresa "Pedro Sotto Alba" se ha utilizado un límite (cutoff) del contenido de % Ni \geq 1 como base fundamental para los estimados de Recursos y Reservas, ignorando los contenidos de cobalto presentes en estos Recursos, conllevando a una disminución de la vida útil de los yacimientos.

En febrero del año 2001 se acordó con la ONRM que a partir de ese año las estimaciones de los recursos y reservas de la Concesión Minera de la Empresa "Pedro Sotto Alba" se realizaría utilizando el concepto de Níquel Equivalente, que se diferencia básicamente del anterior en la consideración de los contenidos de níquel y cobalto y la relación entre los precios de ambos metales en el mercado internacional y los contenidos de Ni \geq 0.9 %. Considerando las diferentes coyunturas económicas que se pueden presentar se asumen valores preestablecidos para los precios de los metales y los contenidos mínimos.

Empleando este criterio en la estimación de Recursos y Reservas, la base de reservas mineras estimadas incrementaron su volumen en más de dos millones de toneladas.

ABSTRACT

Currently the world leaders mining companies work in the search of resources and reserves estimation methods, offering more reliable results, applying more rational concepts and allowing to increase the useful life of the ore bodies.

Historically, the Pedro Sotto Alba, Moa Nickel S.A Company has used a cut off limit of % Ni \geq 1 content as a main base for the estimates of Resources and Reserves, ignoring the cobalt contents present in these Resources. All this results in a decrease of the useful life of the ore bodies.

In February 2001 the Moa Nickel S.A and the ONRM agreed that starting from that year, the estimation of resources and reserves of the Pedro Sotto Alba Mining Concession would be done using the concept of equivalent nickel. This concept is basically different from the previous one in the consideration of the cobalt and nickel contents and the relation between the prices of both metals in the world market and the content of Ni \geq 0.9 %. Taking into account the different economic situations that can arise, pre-established figures for the metal prices and the minimum contents have been assumed.

Using this criterion in the estimation of resources and reserves, the estimated mining reserves base increases its volume in more than two millions of tones.



Introducción

La estimación de recursos y reservas en las compañías mineras integradas como líderes mundiales, (INCO, FALCONBRIDGE, ANGLO AMERICAN, WESTERN MINING, ASARCO, y GENCOR), actualmente trabajan en contar con los estimados más confiables, además de aplicar los métodos más económicos y poder incrementar la vida útil de los yacimientos.

Durante los 41 años de explotación de los Yacimientos lateríticos del Nordeste Holguinero, en la Empresa "Pedro Sotro Alba" (PSA) se ha realizado un sinnúmero de trabajos en torno a incrementar el conocimiento de estos yacimientos; así como el potencial de sus Recursos y Reservas de tanta importancia para nuestro país. Los incrementos productivos actuales que presenta la Empresa "Pedro Sotro Alba" demanda una estabilidad en la calidad del mineral alimentado al proceso metalúrgico, y por consiguiente de un aprovechamiento integral de los Recursos existentes, jugando un papel importante los estimados de Recursos y Reservas más confiables.

Esto ha dado como resultado que la empresa introduzca el criterio de Níquel Equivalente en lo que se refiere a la estimación de los Recursos y Reservas, en acuerdo conjunto con la Oficina Nacional de Recursos Minerales, permitiendo considerar los contenidos de cobalto de los Recursos en las estimaciones, aspecto que en los acuerdos anteriores de límites de cálculo no se consideraban.

Contenido

Los límites de cálculo para las estimaciones aplicadas en la Empresa "Pedro Sotro Alba", tienen un presente basado en la similitud con otros yacimientos que han sido explotados con anterioridad, referidos solamente a los contenidos de % Ni \geq 1 con Fe \geq 35 % y 2 metros de intercalación de material estéril permisible dentro de la masa mineral, utilizando el método de áreas de influencias recogido en la literatura.

Las exploraciones geológicas precedentes para la red de explotación de 16x16 metros, se realizaban solamente para determinar los contenidos de níquel, caracterizando hasta la zona de contacto del escombro con el mineral, sin considerar los contenidos de cobalto dentro de este material. Investigaciones posteriores mostraron el alto potencial de contenido de cobalto que existe dentro del escombro, por lo que se decide a partir del año 1985 realizar las determinaciones de cobalto y hierro a las muestras tomadas de escombro, en ambos casos se caracterizaba hasta la zona del contacto con el cuerpo mineral.

Después de encuentros sostenidos con la Oficina Nacional de Recursos Minerales (1995-2000), se determinó la necesidad de caracterizar este material de escombro para ocho determinaciones analíticas fundamentales (Ni, Fe, Co, SiO₂, Mg, Cr, Mn, Zn), en la red de explotación y considerar todo el espesor del corte laterítico durante el muestreo.

Diferentes ejercicios de estimación utilizando solamente los contenidos de cobalto en sus diferentes variantes de estimación (%Co \geq 0.100, 0.90%Ni, etc.), por diferentes entidades de investigación ha contribuido al desarrollo y análisis de la posibilidad de insertar en la estimación los contenidos de cobalto en el momento de la estimación, pero las variantes aplicadas hasta el momento realizaban el análisis de níquel y cobalto de forma separada para cada elemento y sin incluir los precios de los metales en el mercado internacional.



Tomando como punto de partida esta problemática, se realizó un estudio de los yacimientos dentro de la Concesión Minera, en los cuales los contenidos de cobalto eran significativos dentro del escombro y que no estuvieran considerados dentro del cuerpo mineral.

Diferentes ejercicios en el año 2001, realizados en conjunto con la entidad rectora (ONRM), permitieron desarrollar un procedimiento de cálculo que pudiera satisfacer la utilización de los Recursos de forma racional y que además se basara en un presente económico de Costo - beneficio. El resultado del análisis permitió definir que el por ciento de Níquel Equivalente resumía de forma general los intereses planteados.

Definiendo para nuestro caso el Níquel equivalente (Niequi) de la siguiente manera:

$$\text{Niequi} = \%Ni + \%Co * (Pco/Pni)$$

%Ni---- Por ciento de níquel para cada muestra.

% Co--- Por ciento de cobalto para cada muestra.

Pni = Precio del Níquel dólar/libra.

Pco = Precio del Cobalto dólar/libra.

Según los análisis realizados sobre el comportamiento de los precios del níquel y cobalto, se consideró una relación de 2.5, aplicando 3.00 \$/lb para el níquel y 7.50 \$/lb para el cobalto. Basado en estudios de mercado y Reservas de Ni y Co en el mundo, determinándose que a largo plazo este sería el promedio de precios que la empresa incluiría en su análisis.

Vinculado a estos precios se definió aplicar una restricción del por ciento de níquel de 0.90 %. En la selección del cut-off de Níquel Equivalente, siempre que los contenidos promedios de Ni+Co no sean menores a los obtenidos para el cut-off de Ni = 1.0 %, hasta dos metros de intercalación permisible y un metro de potencia mínima.

Partiendo de estas bases utilizamos diferentes cutoff o ley de corte para el Níquel Equivalente, manteniendo las restricciones antes mencionadas, se procedió a realizar las estimaciones utilizando las herramientas que presenta el Software Sistema Integral Minero en cuanto a estimaciones de Recursos y Reservas.

De forma general en los resultados mostrados, aplicando el criterio del % de Níquel Equivalente, se observa un decremento del % de cobalto dentro de los Recursos con respecto al método tradicional, también existe un incremento significativo del tonelaje producto a la incorporación de material con altos contenidos de cobalto que anteriormente se consideraba como escombro.

Diferentes comparaciones de estos criterios de estimación muestran, de manera general, que pozos minerales para el Cut-Off de 1% de Ni y 35% de Fe, muy pobres en sus contenidos de Ni, dejan de ser "minerales", y pozos de bajo % Ni y alto % Co pasan a ser pozos "minerales". Esto está justificado pues en la estimación del % de Níquel Equivalente se incluye el cut-off de 0.9 % Ni y además se considera el % de cobalto dentro de la estimación.



Es de resaltar la creciente deforestación que presenta la región, por lo que el incremento de Recursos permite utilizar los potenciales de los yacimientos, los cuales son no renovables en el tiempo, y así retrasar este proceso de deforestación, permitiendo que aquellas zonas ya rehabilitadas lleguen a un desarrollo pleno. Además de conservar las áreas aledañas del Parque HUMBOLT el cual constituye uno de los pulmones de nuestro país y del globo terráqueo.

Conclusiones

1. Se incluye como criterio de cálculo en las estimaciones los contenidos de cobalto presentes en los Recursos.
2. Se incremento el volumen de mineral en mas de dos millones, permitiendo así alargar la vida útil de estos yacimientos.
3. Se considera la relación en las estimaciones de los precios de los metales y contenidos de elementos útiles.
4. Se cuenta con un Manual de Estimación de Recursos y Reservas de Moa Nickel S.A. que responde a los acuerdos, normas y requerimientos que existen entre Moa Nickel S.A. y la Oficina Nacional de Recursos Minerales.
5. Los resultados de este informe contribuyó al Balance Nacional de Recursos Minerales del año 2001 de la Nación. Permitiendo así que las demás Empresas del Níquel tomaran esta experiencia.

Bibliografía

- Australasian Code, 1999. Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves.
- Lepin, Oleg y José D. Ariosa Iznaga, Ed.1990. Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo-Económica de Yacimientos de Minerales Sólidos". Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 2 t.
- MINBAS,1999. Clasificación de los Recursos y Reservas de minerales útiles sólidos, Resolución N° 215 de la Gaceta Oficial de la Industria Básica.
- MINBAS, 1994. Decreto Ley N° 194, De la Gaceta Oficial de la Industria Básica.
- MINBAS, 1997. Decreto N° 222, De la Gaceta Oficial de la Industria Básica.
- MINBAS, 1996. Documento resumen, Marco Internacional de las Naciones Unidas para la clasificación de Reservas/Recursos.
- MINBAS, 1998.Introducción sobre el Balance Anual de los Recursos y Reservas Minerales de la Nación de Cuba, Resolución N° 215 de la Gaceta Oficial de la Industria Básica.
- MINBAS, 1998. Instrucción sobre el Balance Anual de las Reservas Minerales de la Nación, Ministerio de la Industria Básica.
- MINBAS, 1995. Ley de Minas, Ley N° 76 de la Gaceta Oficial de la Industria Básica.
- Moa Nickel S.A, 2001. Acuerdo entre Moa Nickel S.A.& ONRM, sobre el Procedimiento para la estimación de Recursos y Reservas de Moa Nickel S.A., Febrero del 2001. Utilizando el criterio de % de Níquel Equivalente.
- Moa Nickel S.A, 1994-2001. Informes sobre el Balance Nacional de Recursos y Reservas, presentados a la ONRM.



Moa Nickel, 1998-1999. Nickel Cobalt Limonite Reservas Moa Occidental and Moa Oriental Consseionsof Moa Nickel S.A. as of December 1, 1998. (Report by Spence Resource Management Inc.).

Moa Nickel, 1995. Nickelferous Limonite Reserves Calcium Carbonate Reserves Calcium Carbonat Reserves and Exploreation Prospects in Moa Bay Area, Republic of Cuba. (Evaluation Report Spence Resource Mangement Inc.).



PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MASA VOLUMÉTRICA EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS.

José Quintín Cuador Gil⁽¹⁾, Elmidio Estévez Cruz⁽²⁾, Waldo Lavaut Copa⁽³⁾.

(1) Departamento de Informática, Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba, E-mail: cuador@eco.upr.edu.cu

(2) Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Martí 270, Pinar del Río, Cuba, E-mail: estevez@geo.upr.edu.cu

(3) Empresa Geominera de Oriente, Alturas de San Juan Km 2½, Stgo. de Cuba, Cuba, E-mail: wlavaut@geom.stg.minbas.cu

RESUMEN

En los yacimientos lateríticos cubanos se han empleado métodos clásicos para la determinación de la masa volumétrica (MV). Otros autores han propuesto métodos ingeniosos para el establecimiento de la MV basados en que éste es un parámetro geólogo - industrial que juega un papel importante en el cálculo del tonelaje de las reservas. Su determinación es importante para el cálculo final tanto a escala global como local. Cualquier inexactitud existente en la determinación de la MV se refleja también como inexactitud de los valores de las reservas de metal calculadas. El abuso de valores medios en aras de simplificar los cálculos, ha conducido a la aceptación de métodos simplistas y burdos.

Un nuevo método a aplicar para la determinación de la MV en yacimientos lateríticos lo brinda la Geoestadística Multivariada, a través de métodos de integración de información con diferente grado de conocimiento. Los valores de los contenidos Fe, Ni y Co son considerados como variable secundaria. La MV medida en pozos criollos se consideran como variable primaria o de interés. Se propone buscar una ecuación de regresión que relacione los datos mencionados, de modo que a partir de esta relación y la continuidad espacial de la variable primaria se estimen valores de la MV en las localizaciones donde ya se conoce un valor medido o estimado de las variables secundarias. En este trabajo se presenta y aplica el nuevo procedimiento para la determinación de la MV sobre el bloque experimental O48 del yacimiento Punta Gorda de noreste de Holguín.

ABSTRACT

In Cuban lateritic mineral deposits classical methods has been used for the specific gravity determination. Some authors have proposed ingenious methods for the calculation of this geologic – industrial parameter. The specific gravity plays an important role in the resources estimation because it defines the total tonnage. Their determination is important for the global and local scale. Any inaccuracy in the determination of this parameter introduces the same error in ore reserve estimation. The excessive use of mean values for the characterization of the specific gravity in order to simplify the calculations has been accepted as simple and coarse methods.

A new method to apply for the determination of the specific gravity in lateritic mineral deposits is possible using multivariate geostatistic methods. Two sources of information with different accurate measurement are used. The values of specific gravity from pit are considered as a primary variable, meanwhile, the Ni, Fe and Co contents from drillholes are used as secondary variables. The idea is to look for an interesting relation between this two type of information and then use this relation and the spatial variability in order to estimate the primary variable assisted by the secondary variable. This new procedure for the determination of the specific gravity is introduced in this work. An experimental sector of the Punta Gorda lateritic mineral deposit from the eastern Cuba is taking as a case study.



Introducción

La masa volumétrica (MV) es un parámetro geólogo - minero de importancia en el cálculo de recursos y reservas ya que determina el tonelaje de mena y por tanto la cantidad de metal. Un error en la determinación de la MV conduce a errores en el cálculo de las reservas del mismo modo que una insuficiente estimación de los parámetros potencia o contenidos minerales (Lepin y Ariosa, 1986). La MV se puede determinar por varios procedimientos, mediante el pesaje de las muestras y la determinación de sus volúmenes en los laboratorios, o a través de la toma de muestras especiales en el campo.

En los yacimientos lateríticos cubanos se han empleado dos métodos diferentes para la determinación de la MV a partir de las mediciones en pozos criollos (Vera, 1979). El primer método consiste en obtener una MV promedio para cada uno de los horizontes tecnológicos de mineral. Esto significa que mediante el pesaje y determinación de la humedad de todo el mineral del pozo criollo, comprendido en la zona que se haya clasificado como laterita de balance de acuerdo con los resultados de la perforación, se establece una sola MV para ese mineral. En la misma forma se procede con la serpentinita. Ahora, en realidad, el mineral comprendido dentro del horizonte de serpentinita blanda estará compuesto por fracciones de rocas duras hasta terrosas, y por alguna laterita presente como bolsones o desarrollada en grietas preexistentes. Pero aunque cada una de estas fracciones posee de hecho una MV propia, se obtiene para todo el material una MV promedio. Este método facilita las operaciones de cálculo.

Otro método consiste en clasificar los minerales en subtipos, atendiendo a las distintas características físicas presentes en el mismo. Estas características se refieren a las diferencias de color, granulometría, compacidad y textura. En la misma forma se procede con el mineral serpentinitico. Al proceder a la apertura del pozo criollo, se extrae el mineral del primer intervalo, determinándose mediante su inspección macroscópica, que tipo de mineral lo componen. A continuación se establece la MV mediante el método habitual de pesaje y determinación de la humedad. Como resultado de este procedimiento quedará establecida toda una serie de valores de MV, que abarcarán los distintos subtipos de mineral. Con la aplicación de este método laborioso, se espera mayor precisión en el cálculo del tonelaje de mineral, pero en la práctica no se garantiza que se obtengan las ventajas que la aplicación de dicho método hace esperar. Se ha demostrado que todos los muestreos no clasifican la misma muestra de igual forma y que los resultados obtenidos presentan muy poca diferencia con el primer método. Se ha decidido aplicar la MV promedio por tipo de mineral tecnológico (Vera, 1979).

Otros autores han propuesto métodos para el establecimiento de la MV en yacimientos lateríticos, basados en que la MV es un parámetro geólogo industrial que juega un papel importante en el cálculo del tonelaje de las reservas de un yacimiento. Su determinación es importante para el cálculo final de las reservas tanto a escala global como local del mismo modo que influyen los contenidos de mineral. Estos trabajos parten de que tradicionalmente se toman los valores medios de MV por litologías y a partir de éstos se calcula el tonelaje. Consideran además, que en los valores de la MV influyen directamente una gran cantidad de características físicas (Legrá et al., 1999), las que varían sensiblemente tanto en diferentes yacimientos como en distintas zonas de un mismo yacimiento; por lo que cualquier inexactitud existente en la determinación de la MV empleada se refleja también como inexactitud de los valores de las reservas de metal calculadas, y que el abuso de los valores medios, en aras de simplificar los cálculos, ha conducido a la aceptación de métodos simplistas y burdos (Legrá et al., 1999).



Legrá et al. (1999) proponen métodos ingeniosos, haciendo uso de interpolación por triangulación, resolviendo el problema de la determinación de la MV con mayor precisión que los métodos tradicionalmente aplicados. Así, la estimación se hace por tipos tecnológicos y no se aprovecha la continuidad espacial que puedan tener los valores de MV y su relación de correlación con los contenidos Fe, Ni y Co medidos en Pozos Criollos.

En este trabajo se presenta un nuevo procedimiento para la determinación de la masa volumétrica, usando métodos de la Geoestadística Multivariada de integración de información. Estos métodos aprovechan la variabilidad espacial del parámetro de interés o variable primaria y la relación que ésta presente con la o las variables que llamaremos secundarias, para la estimación o simulación de la primaria. Se aplica el método en el bloque O48 del yacimiento Punta Gorda

Nuevo método para la determinación de la masa volumétrica

Un nuevo método a aplicar para la determinación de la MV en yacimientos lateríticos lo brinda la Geoestadística Multivariada, a través de métodos de integración de información con diferente grado de conocimiento. Esto es, si se puede establecer alguna relación entre los valores de una o varias variable (que llamaremos secundaria) conocida en todo el dominio de estimación, con la variable de interés (que llamaremos primaria), es posible usar métodos para estimar la variable primaria en los puntos donde es conocida la variable secundaria, haciendo uso de sus relaciones.

Los valores de Fe, Ni y Co obtenidos en los 18275 bloques de estimación con dimensiones 8.33x8.33x1 m, definidos por el modelo geométrico tridimensional desarrollado sobre el bloque O48, son considerados para conformar la variable secundaria. Los valores de MV medidos en muestras de 1m de longitud en 44 pozos criollos se consideran como variable primaria o de interés. Los pozos criollos fueron desarrollados en una red irregular mucho menos densa que la de pozos de perforación, dispuestos según la figura 1. Proponemos buscar, una ecuación de regresión que relacione los contenidos Fe, Ni y Co con los de MV medidos en pozos criollos, de modo que a partir de esta relación y la continuidad espacial de la variable primaria o de interés, se puedan generar valores de MV en las localizaciones donde ya se conoce un valor estimado de la variable secundaria.

Esta generación de valores se puede hacer por medio de la simulación o estimación geoestadística con integración de información usando métodos como: CoKriging con variable colocalizada y Kriging con Deriva Externa. Posteriormente, se pueden utilizar los valores estimados de la MV en el proceso de cálculo de recursos y reservas. Para llevar a la práctica este nuevo método, es necesario buscar la ecuación de regresión entre la variable primaria y secundaria, realizar los cálculos de estadística básica, el análisis estructural y finalmente la estimación de la MV.

Ecuación de regresión

Para analizar la posible existencia de relación entre las variables masa volumétrica, Ni, Fe y Co, se aplicó la técnica de Análisis de Correlación y Regresión Múltiple. La ecuación para la estimación de la MV en los pozos criollos desarrollados a partir de su relación con los contenidos de Ni, Fe y Co, se obtuvo mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados (Webster, 1996). Este método hace mínima las desviaciones con respecto a la recta estimada. La ecuación de regresión estimada (figura 2) y la significación de sus parámetros se muestra a continuación.



$$MV = 1.509 - 0.311 \text{ Ni} + 0.004 \text{ Fe} - 1.267 \text{ Co} \quad \text{con: es.} = 0.28, R = 0.63, R^2 = 0.39$$

Aún cuando el coeficiente de determinación R^2 , el cual mide, el por ciento de la variabilidad total, que es explicado por el modelo de regresión, no es tan explicativo; éste es aceptable para la aplicación de métodos de integración de información planteados (Deutsch, 2002; Pardo-Iguzquiza, 2002).

Análisis de variabilidad de la masa volumétrica

El análisis de variabilidad espacial de la MV, para la zona mineralizada utilizada como ejemplo, se realizó en la dirección vertical y en la dirección horizontal, es decir, en el plano de la corteza de intemperismo. En la dirección vertical fue utilizado un incremento de 1m que coincide con el tamaño de las muestras, para la dirección horizontal se utilizó un incremento de 300 m, aproximadamente la distancia promedio entre las muestras contiguas y hasta una distancia tal que permita el uso de todas las muestras en el análisis. En este caso fueron calculados los semivariogramas en diferentes direcciones, desde 0° hasta 157.5° con intervalos de 22.5° grados, mostrándose estructuras similares en todas direcciones (Figura 3), considerándose apropiado ajustar el semivariograma medio. Los ajustes se presentan en la figura 4. El modelo obtenido se representa por la siguiente expresión.

$$G(h_x, h_y, h_z) = 0.030 \text{ Exp}(500, 500, 5) + 0.058 \text{ Sph}(1650, 1650, 10)$$

Estimación de la masa volumétrica

Para la estimación de la MV se utilizó como variable secundaria los valores obtenidos por la ecuación de regresión entre la MV y los contenidos de Fe, Ni y Co, en los bloques de estimación definidos por el modelo geométrico tridimensional del bloque O48. Se empleó el procedimiento CoKriging con variable colocada (Collocated CoKriging) a través del promedio de 30 simulaciones de esta variable, para lo que se usó la librería geoestadística GsLib (Deutsch y Journel, 1998). Los resultados de la estimación se muestran en las figuras 5 y 6. La figura 5 muestra un perfil con las estimaciones de la MV y la figura 6 muestra dos gráficos de línea como ejemplo del comportamiento de la MV estimada y los valores promedios tradicionalmente usados en el yacimiento Punta Gorda, para una intersección entre los bloques contenidos en un perfil y un nivel cualquiera del depósito (B).

Los recursos globales estimados utilizando los valores de masa volumétrica promedio y estimada son 1,329,931.30 ton y 1,283,949.82 ton, respectivamente. Se presentan los valores sin aproximarlos por redondeo para significar las diferencias del cálculo utilizando los dos valores de MV: promedio y estimada. Es de notar que las reservas globales calculadas por el nuevo método son sólo ligeramente inferiores a las calculadas usando la MV promedio. De los gráficos de líneas de la figura 6 se deduce que las reservas a escala local son más precisas.

Conclusiones

El nuevo método para la determinación de la MV, permite obtener valores de este parámetros de acuerdo dos elementos importantes: su variabilidad espacial y su relación con los contenidos de los metales medidos o estimados, por lo que proporciona una estimación de recursos y reservas más precisa a escala local. Para el caso particular del Bloque O48, los recursos obtenidos por el nuevo método de determinación de la MV son ligeramente inferiores a las obtenidas considerando los valores medios de MV utilizados en el yacimiento Punta Gorda. El procedimiento utilizado puede ser empleado en otras situaciones donde existan fuentes de



información con distinto grado de conocimiento, fundamentalmente cuando se han realizado trabajos geofísicos.

Referencias bibliografía

- Lepin, O. V., y Ariosa, J. D., 1986, Búsqueda, Exploración y Evaluación Geológico Económica de Yacimientos Minerales Sólidos, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Primera Parte, 348 p, Segunda Parte, 191 p
- Vera Yeste A., 1979, Introducción a los yacimientos de níquel cubanos, Ciudad de la Habana: ORBE.
- Legrá, A., Polanco, R, y Miranda, J. 1999, Propuesta para el establecimiento de la masa volumétrica en los yacimientos lateríticos de Cuba, Revista Minería y Geología, Vol. XVI, No. 2.
- Webster, A. L., 1996, Estadística aplicada a la Empresa y a la Economía. IRWIN, segunda edición. Madrid.
- Deutsch, C.V., 2002, Comunicación personal, PhD Universidad de Stanford.
- Pardo Iguzquiza, 2002, Comunicación personal, PhD Universidad de Granada.
- Deutsch, C.V., y Journel, A.G., 1998, "GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide", Second Edition, Oxford University Press, 369p.

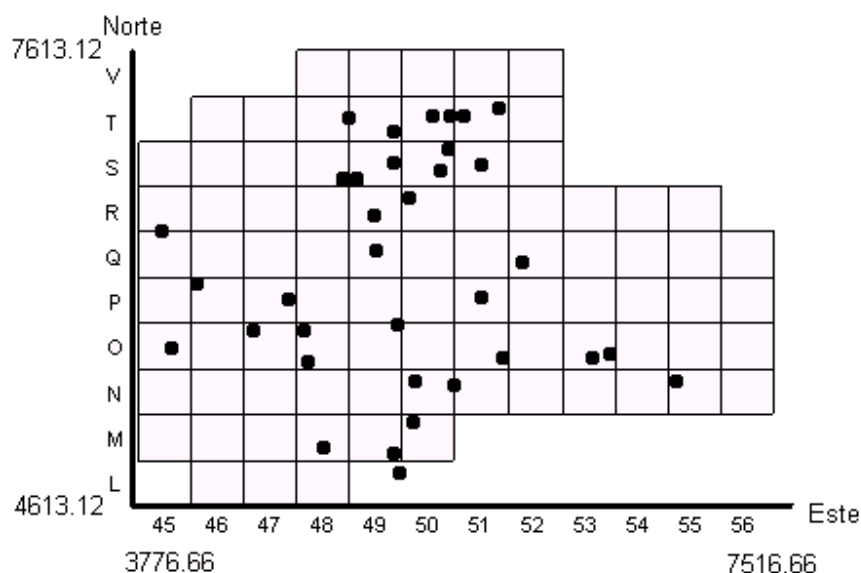


Figura 1. Pozos criollos en el yacimientos Punta Gorda

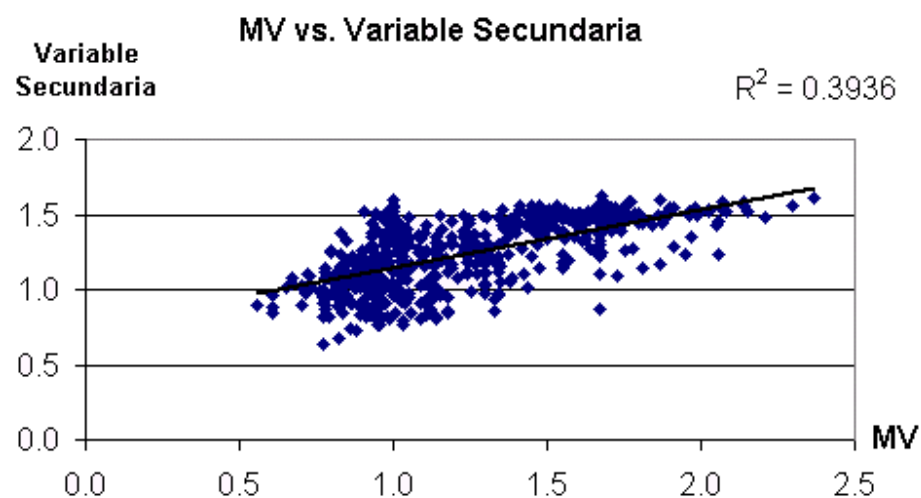


Figura 2. Recta de regresión entre la MV y la variable secundaria.

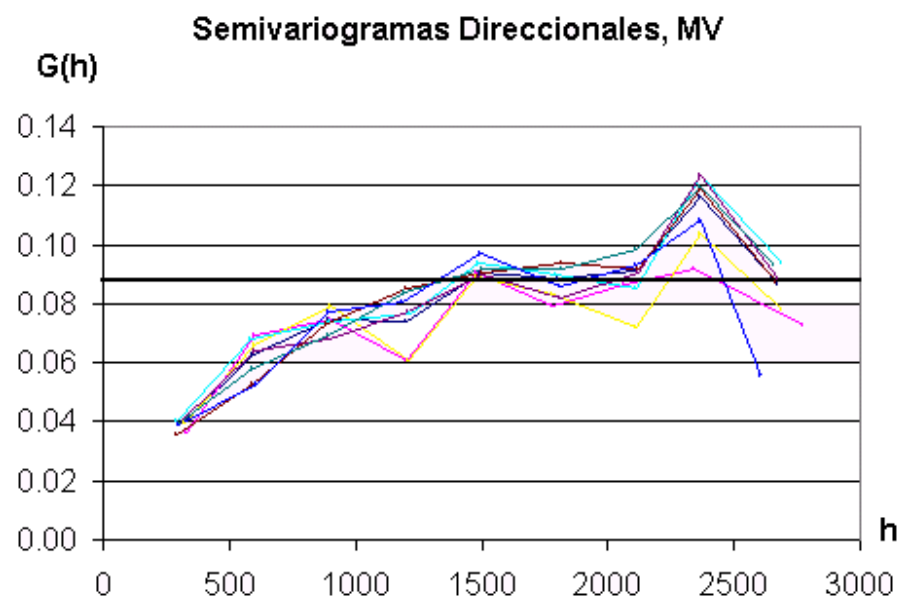


Figura 3. Semivariogramas direccionales de la masa volumétrica.

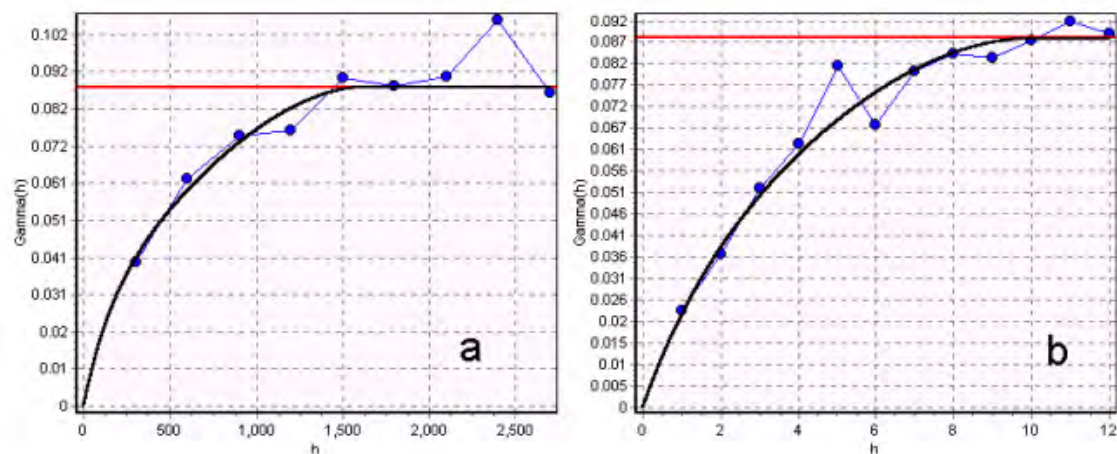


Figura 4. Ajuste de los semivariogramas de la masa volumétrica, a) Semivariograma medio y b) Semivariograma Vertical.

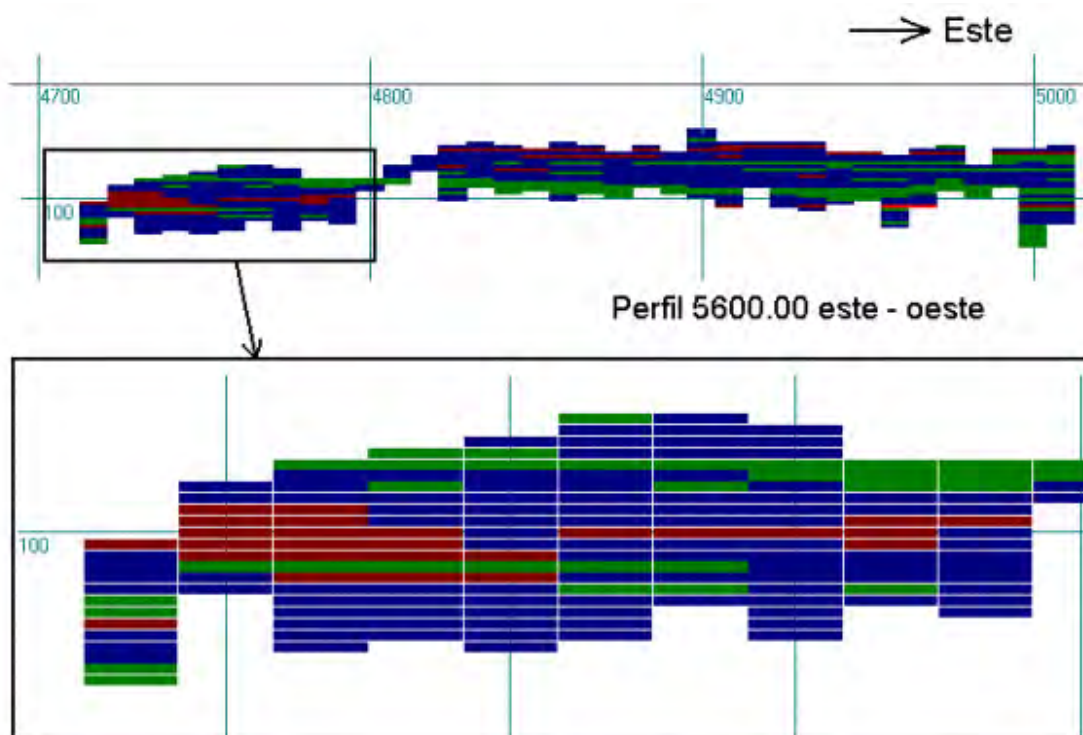


Figura 5. Estimaciones de la masa volumétrica en el perfil 5600 del bloque O48,.

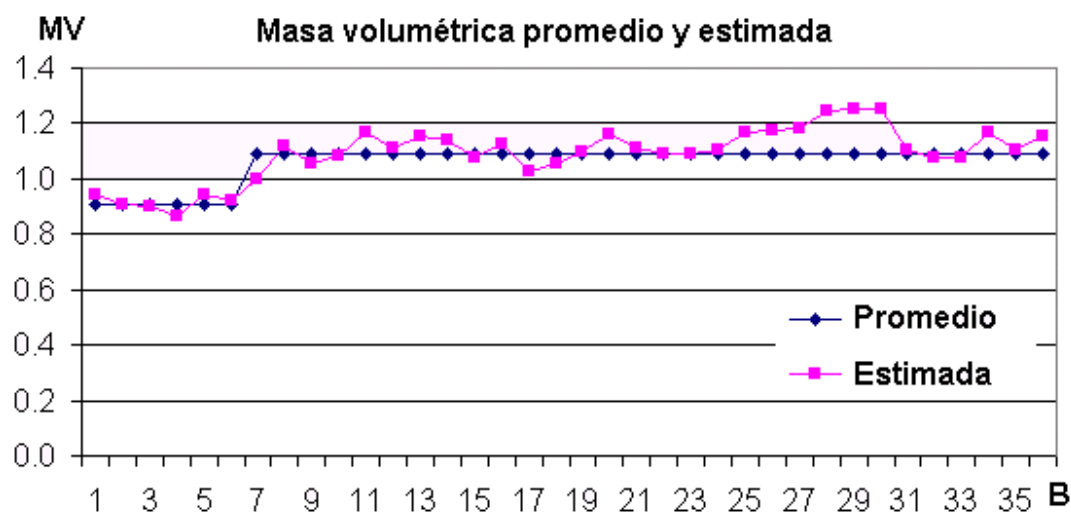


Figura 6. Comportamiento de la masa volumétrica promedio y estimada.



EL TRATAMIENTO AUTOMATIZADO DE LA INFORMACION GEOLOGICA EN LOS YACIMIENTOS DE NIQUEL CUBANOS.

Dr. Héctor José Rodríguez Ruiz

Empresa Geominera de Oriente carretera de Siboney Km 1 1/2 San Juan Santiago de Cuba

RESUMEN

El tratamiento automatizado de la información geológica en los yacimientos de níquel cubanos, reproduce la historia del uso de computadoras en el país ya que desde la introducción de las primeras computadoras, éstas fueron utilizadas con el fin de cálculos de reservas de esa materia prima, primero en la fábrica de Nicaro y a medida que se incremento el empleo de esa tecnología correspondientemente se ampliaron sus aplicaciones en otros lugares y hacia otros fines.

La aparición de las Computadoras Personales en la segunda mitad de los años ochenta potenció la extensión del empleo de esa tecnología a un control integral del flujo de datos durante la prospección geológica (Sistema MICRONIQ) y su introducción en el manejo de la información en las minas.

En este trabajo expondremos las experiencias recogidas durante la década de los noventa en que se ha trabajado en la creación y normalización de las bases de datos geológicos, los estudios del flujo informativo en cada una de las minas activas y en la aplicación de los llamados Software de Minería para modelar las reservas. Se expone el criterio del autor de la situación actual del tratamiento automatizado de la información geológica de níquel en Cuba y sus perspectivas futuras.

ABSTRACT

The automated treatment of the geologic data in the Cuban nickel deposits, reproduces the history of the use of computers in the country.

Personal Computers in the second half of the years eighty increase the use of that technology to an integral control of the flow of data during the geologic prospecting (MICRONIQ system) and their introduction in the handling of the information in the mines.

In this paper we will expose the experiences picked up during the decade of the ninety in that has been worked in the creation and normalization of the geologic databases, the studies of the informative flow in each one of the active mines and in the application of the Mining Software to model the deposits. The approach of the author of the current situation of the automated treatment of the geologic information and its future perspectives in Cuba are exposed.

Introducción

Los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto de la porción nororiental de Cuba constituyen la principal materia prima mineral del País razón que explica la prioritaria atención que se le presta al desarrollo tecnológico de todas las cuestiones relacionadas con la prospección, minería y metalurgia de esos depósitos.

La década precedente a la que nos ocupa se caracterizó por una actividad intensa de la prospección geológica como consecuencia del desarrollo programado de esta industria que en 1975 había duplicado la producción de 1958 y se planteaban nuevas inversiones de rehabilitación de las industrias existentes y la construcción de otras.

Al Servicio geológico se le encargó la elevación del grado de estudio de las reservas conocidas y la prospección de nuevas áreas para consolidar la base de materia prima, cuestión que quedó satisfecha en el quinquenio 1976-80 y continuó esta actividad durante los años posteriores que completaron un total de 18 áreas en estudios.



Ese auge de la prospección trajo como consecuencia la necesidad de manejar un enorme volumen de información y se hizo imprescindible el uso de las técnicas de computación para el control del flujo de datos, los cálculos de reservas y la confección del material gráfico. Así surge entonces, el sistema MICRONIQ desarrollado por la actual Empresa Geominera de Oriente para las primeras PC XT que fueron adquiridas por el servicio geológico nacional. Ese sistema corona el empleo de las técnicas de computación para estos fines que se inició en la Empresa Rene Ramos Latour (Nicaro), Geofísica Nacional y la propia Geominera, empleando minicomputadoras con cintas o tarjetas perforadas como soporte de entrada.

Como consecuencia del empleo de MICRONIQ durante los años ochenta, quedó una completa base de datos de la información geológica que imponía, siguiendo el desarrollo sistemático alcanzado, *"garantizar en la industria extractiva del níquel un nivel de uso de la computación que permitiera utilizar los resultados del trabajo con ordenadores en la Geología como bancos de datos para ulteriores reevaluaciones y planificación de la extracción de los recursos minerales"* [1]. Este enunciado expresa la esencia de los objetivos a lograr en la automatización del tratamiento de la información en las minas de níquel durante la década del noventa.

El equipo de la Empresa Geominera de Oriente que tuvo la tarea de desarrollar el MICRONIQ, posteriormente brindó sus servicios en la transferencia de esa experiencia a las minas mediante trabajos de colaboración o como servicios especializados de informática. La participación del autor del presente trabajo como miembro de ese equipo, le permite exponer su valoración de las tareas ejecutadas y las experiencias que de ellas se derivaron.

Los Años Noventa

La década comienza con la primera presencia de las PC en las minas y en el Centro de Proyectos para la industria del níquel, se decide entrenar al personal encargado de la automatización en el empleo del sistema MICRONIQ, transmitiendo la experiencia derivada de la automatización de la prospección a los especialistas de las minas y se comienza a delinear el servicio informático en cada una de ellas.

Las direcciones de trabajo para conseguir la introducción completa del tratamiento automatizado de la información en las minas requería entonces de cumplimentar las siguientes direcciones de trabajo:

- Normalizar y completar las bases de datos Geológicos
- Estudio del flujo de la información en las minas
- Modernizar y completar el equipamiento de computo electrónico y los Software.

Las Bases de Datos Geológicos

Cumplida la misión a que hicimos referencia en la introducción para el servicio geológico, se impone entonces como tarea principal el uso del enorme volumen de datos geológicos colectada para extraer de ella la máxima información geológica que aportan.

Financiado por el presupuesto del estado y la industria del níquel, se ejecutó un trabajo temático que entre otras tareas incluyó el objetivo de generalizar y perfeccionar la información geológica existente [2], mediante el cumplimiento de esta tarea se digitalizó la información de



aquellos yacimientos que no habían sido estudiados usando el MICRONIQ y se completaron las bases de datos de todas las áreas exploradas.

La base de datos MICRONIQ, tenían una estructura comprometida con las funciones de ese Software y sólo soportaban los datos de la red de exploración del estadio concreto de evaluación, el empleo de ellas para las diversas tareas mineras y para las evaluaciones necesarias en los procesos negociadores de las inversiones y creación de asociaciones con capital extranjero, requerían de un formato más abierto.

La solución brindó la principal experiencia sobre el tratamiento de este objetivo: **las bases de datos geológicas se normalizan según una estructura en relación con las características intrínsecas de los datos e independiente de las exigencias de Software alguno y se tratan con Software de manejo capaces de brindar las consultas necesarias para cualquier tarea.** Esto deja libre la elección del software de procesamiento mas factible y se organiza una estructura de banco de datos como se muestra en la figura No.1.

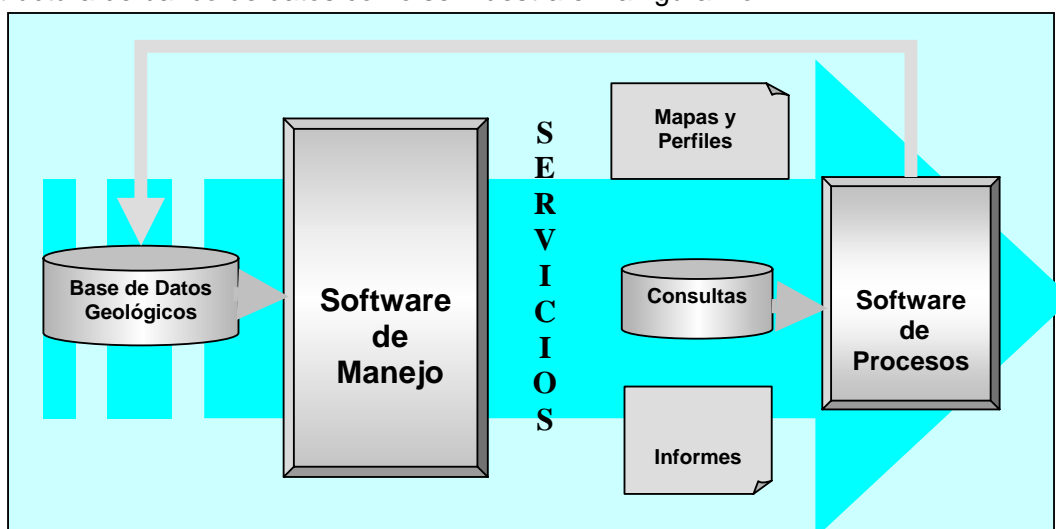


Figura No. 1 Estructura de Banco de Datos Geológicos.

Siguiendo ese principio se acometieron la creación de los paquetes informativos de los yacimientos incluyendo la información topográfica y que hoy cubren todas las áreas en manos de los concesionarios de los yacimientos de níquel.

Estudio del Flujo Informativo en las Minas.

En las minas activas (Pedro Soto Alba, Rene Ramos Latour y Che Guevara) se ejecutaron los estudios del flujo informativo para establecer las necesidades y formas más factibles de acometer el proceso de automatización lo cual se completó en 1996 [3,4,5].

Hasta ese momento había acaparado nuestra atención la base de datos geológica y su uso, cuestión que explica su importancia indiscutible y su volumen pero durante el análisis del flujo de datos quedó claro que existen otras bases de datos en las minas de gran importancia para la toma de decisión y el control de la eficiencia del proceso de extracción minera y que la geología es tan sólo uno de los componentes que intervienen en el proceso informativo.

La figura No. 2 muestra el esquema del flujo informativo en una de las minas.

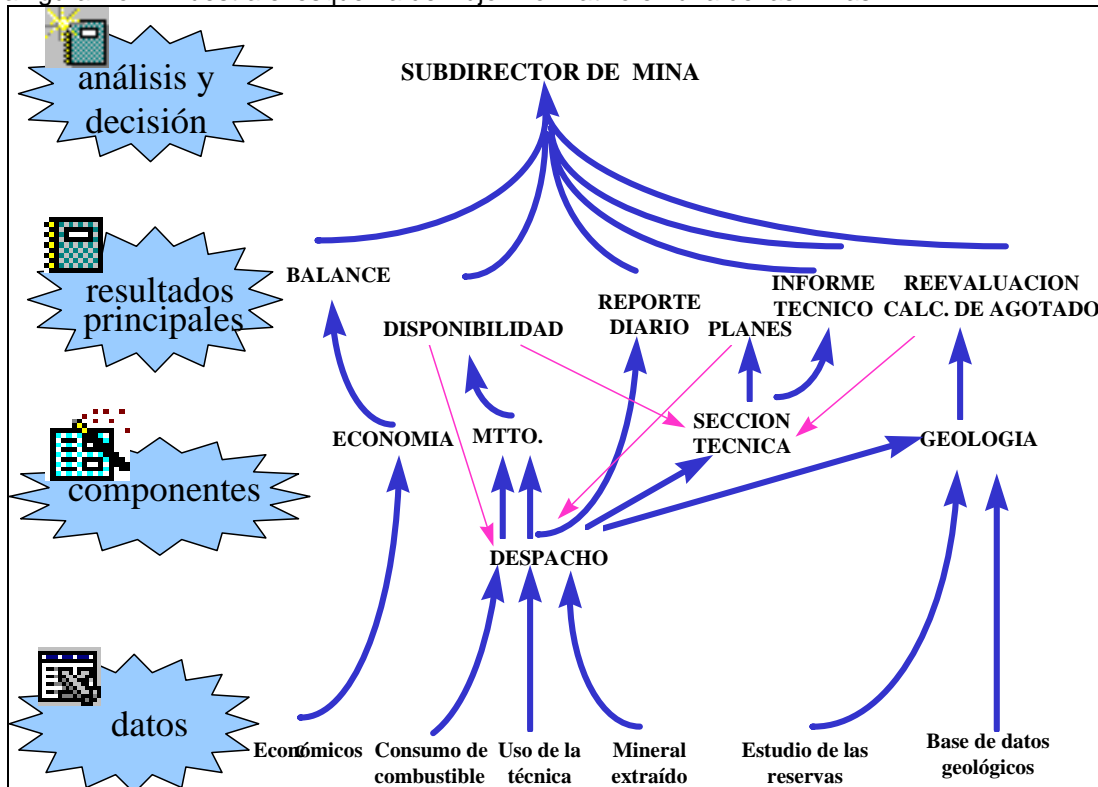


Fig. No.2. Relación entre los componentes del flujo informativo en la Mina.

Con el estudio del flujo informativo pudo establecerse la etapa en que ese encontraba cada mina con respecto a la automatización y recomendar como orientar los pasos siguientes.

En sentido general se siguió el concepto de transitar tres etapas principales:

1. Adquisición y asimilación del hardware mínimo para cada componente y preparación del personal en el uso de las aplicaciones de uso general.
2. Desarrollar aplicaciones específicas para cada componente que facilitaran el flujo automatizado de la información definiendo funciones organizativas que garanticen la disciplina informática.
3. Introducción de Software comerciales provenientes de los estándares mundiales o confeccionados a la medida siempre partiendo de una valoración costo beneficios adecuada que no podía hacerse hasta completar las dos etapas anteriores.



El principal resultado de estos estudios consistió en la existencia de un programa coherente que sin constituir un dogma, guiara las inversiones de automatización paso a paso con agresividad pero sin saltar etapas y acompañadas de las medidas organizativas que garanticen el uso eficiente de las computadoras y los software, es decir, asegurando el tercer componente de la automatización que a menudo se le brinda poca atención, el **orgware**.

Las Computadoras y los Softwares Estándar.

A finales de los noventa las minas de níquel quedaron bien equipadas de computadoras y enlazadas en red local y con un coherente programa de mantenimiento y modernización de esa técnica.

Puede decirse que se han transitado las dos primeras etapas que establecieron los estudios del flujo informativo aunque deben completarse detalles en cada una de ellas.

Se atendieron cuestiones que podemos situar como correspondiente a la tercera etapa de automatización, ejemplo de ellas es la adquisición de software y equipamiento para la colección automatizada de datos en topografía y el software a la medida confeccionado para el despacho de la mina Che Guevara que desde 1998 trabaja ininterrumpidamente en una eficiente colección, almacenaje y publicación para el análisis y toma de decisión de todos los datos operacionales que se generan durante las labores mineras.

Capítulo aparte merecen los llamados software de minería que durante la década que nos ocupa han tenido un fuerte desarrollo y han sido aplicados a nuestros yacimientos, sobre todo por entidades extranjeras involucradas en procesos negociadores con la industria del níquel.

Tales software orientados principalmente al modelaje de yacimientos de otro tipo (filonianos, estratificados, etc.) resultan más engorroso utilizarlos para nuestras yacimientos intemperizados en forma de mantos con una extensión areal enorme con respecto a su espesor y por ello no aportan una información tan elevada al modelo de reservas. No así en su empleo para el diseño minero y la planificación donde son más resolutivos, según los resultados que reporta el Centro de Proyectos de la Industria del Níquel al emplear GEMCOM y la Pedro Soto Alba con SURPAC.

La última palabra en este tema no está dicha aún y nos encontramos en pleno proceso de evaluación, pero debe atenderse una cuestión fundamental: **la tecnología es importante pero ser competentes para usarla es lo vital**. Estos programas exigen de una preparación amplia en el uso de las técnicas geoestadísticas para el modelaje de las reservas y en consecuencia de una completa concepción del modelo geológico del depósito por lo que el servicio geológico de las minas debe transitar de las tareas específicas del control y planificación a la profundización en la información geológica que brinda la exploración general y la exploración de explotación.

Por mucho tiempo las tareas de modelaje estuvieron a cargo del servicio geológico nacional con la obtención de los modelos a largo plazo producto de las investigaciones extensivas durante los ochenta y la concentración del trabajo computarizado en equipos especializados para hacerlo, debido a las exigencias del equipamiento de entonces.

Ahora se trata de prestar máxima atención al mejor aprovechamiento de los yacimientos y al existir recursos de automatización en las minas, permiten el ajuste de aquellos modelos a



modelos de corto plazo, basados en el resultado de la extracción y las tareas de exploración de explotación, aunque esos trabajos utilizan la contratación del servicio geológico, juegan un papel vital los geólogos de las minas por la inmediatez del empleo de sus resultados.

Por otra parte el diseño de la extracción minera ha estado basado en la información discreta según redes regulares de perforación, el aprovechamiento de la modelación continua que permiten estos software requiere de variar el diseño de la extracción minera, de lo contrario reduciríamos las posibilidades de esos programas a lo que ya tenemos hoy y entonces, ¿para que adquirirlos?.

Si no atendemos la preparación de los especialistas y la consolidamos primero (lo vital) implantar cualquier software que emplee herramientas que superan la competencia de quienes los usan, quedarían tan lejos como la insuficiencia que tratamos de resolver. La distancia no tiene signo, es la misma tanto por exceso de tecnología no asimilada que por falta de ella.

Los Próximos Pasos.

El desarrollo alcanzado hasta este momento impone como garantía de consolidación el completamiento de los aspectos aún por lograr de las etapas casi vencidas, poniendo fundamental atención a las cuestiones organizativas y de disciplina informática y a lograr profesionales competentes en el uso de las tecnologías adquiridas.

Emplear las técnicas avanzadas de Software con la asimilación y configuración de servidores de bases de datos para el uso colectivo y seguro de los datos en línea por aplicaciones multiusuarios.

Perfeccionar y extender la automatización de la base de datos operacional siguiendo la experiencia en Che Guevara y transitar hacia la colección automatizada en tiempo real de los datos que se generan durante el proceso de extracción.

Seguir la experiencia de la Mina Pedro Soto Alba en la aplicación de los llamados software de minería para la modelación a corto plazo de las reservas junto a las modificaciones consecuentes del sistema de extracción minera.

Bibliografía

- Rodríguez , H.(1990). "Premisas Geológicas para la Automatización integral de los trabajos de Prospección en Yacimientos Niquelíferos de Intemperismo". *Tesis Doctoral, Centro Inf. ISMM.*
- Rodríguez , A; et al. (1995) "Base Geológica para Argumentar el Uso más Racional de las Lateritas del Norte Oriental Cubano". Trabajo Temático Productivo. Archivo ONRM.
- (1995) Estudio del Flujo Informativo de la Mina Pedro Soto Alba. *Informe Archivo Empresa Geominera de Oriente.*
- (1996) Estudio del Flujo Informativo de la Subdirección de Minas empresa Rene Ramos Latour. *Informe Archivo Empresa Geominera de Oriente.*
- (1997) Estudio del Flujo Informativo de la Mina Che Guevara. *Informe Archivo Empresa Geominera de Oriente.*



INFLUENCIA DE LA HOMOGENEIZACIÓN DEL MINERAL LATERÍTICO EN LA HIDROMETALURGIA CON LIXIVIACIÓN ÁCIDA

Severo Estenoz Mejías, Niurka Pérez Melo y Eulalia Rondón Medina

Centro de Investigaciones del Níquel, Carretera Moa-Baracoa Km. 5½ s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330, Tel. 53-24 67123 y 67976, sestenoz@cil.moa.minbas.cu

RESUMEN

La importancia de la homogeneización de la mena procesada es un componente importante en el control de la calidad de todo proceso metalúrgico. El estudio de su rol en los procesos de lixiviación ácida permite regular los consumos específicos de mineral y el incremento de la eficiencia del proceso productivo.

Para los estudios se tomaron los datos de varios años del proceso productivo en periodos significativos de la calidad en los niveles de homogeneización del mineral y su influencia en el proceso.

Se estudiaron la influencia de la homogeneización del mineral sobre las diferencias entre las recuperaciones del níquel y cobalto durante la lixiviación, así como los índices de consumo de reactivos y energía durante el proceso de lixiviación ácida.

De la valoración del efecto económico en la homogeneidad de los flujos de mena que se alimentan a la planta de lixiviación de la fábrica Comandante Pedro Sotelo Alba se considera el potencial para incrementar las recuperaciones de níquel y cobalto durante el proceso de lixiviación ácida y las concentraciones en el concentrado final.

Palabras Claves: Homogeneización, lixiviación ácida, lateritas, níquel, cobalto

ABSTRACT

The importance of the homogenization of the processed ore is an important component in the control of the quality of all process metallurgist. The study of its list in the processes of acid leaching allows to regulate the specific consumptions of mineral and the increment of the efficiency of the productive process.

For the studies they took the data of several years of the productive process in significant periods of the quality in the levels of homogenization of the mineral and their influence in the process.

They were studied the influence of the homogenization of the mineral on the differences between the recoveries of the nickel and cobalt during the leaching, as well as the indexes of consumption of reagents and energy during the process of acid leaching.

Of the valuation of the economic effect in the homogeneity of the ore flows that you/they feed to the plant of leaching of the factory Major Pedro Sotelo Alba is considered the potential to increase the nickel recoveries and cobalt during the process of acid leaching and the concentrations in the final concentrate.

Key word: Homogenization, acid leaching, bunks, nickel, cobalt



Introducción

Para los yacimientos lateríticos es muy característico una distribución espacial desigual de los distintos tipos y clases de componentes útiles, en los límites de los distintos bloques y sectores, etc. (Estenoz, 1993); Presentándose una gran variabilidad en los volúmenes de los flujos de mena que se abastecen al proceso metalúrgico, así como en su calidad (Fig. 1,2). El fenómeno dado se manifiesta negativamente en el trabajo de la propia mina y en su interrelación organizativo - tecnológica con el proceso metalúrgico.

La utilización más completa de la corteza terrestre y el aumento de la rentabilidad en la producción minero - metalúrgica de los metales contenidos en las menas lateríticas en general, puede ser llevada a cabo sobre la base de organizar el proceso de homogeneización de la calidad del mineral extraído antes de su tratamiento metalúrgico (Ferreti, 1991). Sin embargo hasta los últimos tiempos en la empresa metalúrgica de Moa a este problema no se le dedicaba la atención requerida. Los trabajos teóricos se presentaban con poca cantidad de publicaciones, frecuentemente contrapuestos unos a otros y teniendo sobre todo experiencias insuficientes de la homogeneización de los minerales.

En este artículo se resume simplícidamente los resultados de las investigaciones sobre la homogeneización de minerales lateríticos y se fundamenta lo racional de la homogeneización para los minerales lateríticos del yacimiento Moa.

Algunas particularidades de las interrelaciones de los procesos de extracción procesamiento de minerales

El intenso crecimiento de la producción y el consumo de metales con los limitados recursos minerales que en la actualidad se extraen, promueven problema reciente y creciente, obtener la mayor cantidad de metales por cada yacimiento explotado con los menores gastos de recursos y para todo el ciclo de producción, desde la proyección geólogo - minera, la explotación y producción, hasta la comercialización, las ventas y la extinción de la minería y la empresa.

La solución radical de este dilema requiere la búsqueda de nuevas vías para elevar la efectividad de la extracción de minerales útiles en estrecha interrelación tecnológica con el procesamiento de minerales y concentrados sobre la base de obtener la mayor ganancia (Galetakis, 1999). Esta interrelación toma un carácter bastante difícil y su estudio exige la ejecución de profundas investigaciones con el acercamiento de un amplio círculo de especialistas de diferentes perfiles (Meléndez y Tapia, 2002). En este artículo se examinan solo algunas particularidades de esta interrelación en la explotación a Cielo Abierto del yacimiento laterítico de Moa. En posteriores trabajos se abordaran otros fenómenos e influencias relacionados con esta temática.

Los minerales de este yacimiento son heterogéneos por su composición sustancial y como regla, son de variados tipos y clases. En este aspecto cada tipo y clase tecnológica de mineral exige su propio régimen de procesamiento, de acuerdo a su variabilidad y gasto de reactivos durante el beneficio y tratamiento químico.

La separación mediante la lixiviación ácida, el lavado y la precipitación de los sulfuros de los componentes útiles del mineral, la calidad final del concentrado, el costo de su procesamiento y en particular el costo general del producto terminado, en considerable medida lo determina la calidad del mineral inicial: el contenido en él de los componentes útiles y dañinos, la cantidad de tipos y clases tecnológicas incluidas en la mena, el grado de homogeneización de estas, entre otros.

El aumento de la efectividad del trabajo en las empresas beneficiadoras y metalúrgicas del níquel y el cobalto por medio del suministro de material de mejor calidad, se relaciona en la mayoría de los casos con el aumento del costo de extracción del mineral.



Obviamente para la solución correcta del problema planteado, en interés de la rama, es necesario recordar y no menoscabar los intereses del eslabón minero extractivo. Si la suma total de los gastos en la extracción, beneficio y procesamiento metalúrgico de una tonelada de mineral lo distribuimos en los procesos productivos, entonces los gastos en el procesamiento metalúrgico en más de 3.5-4.0 veces sobrepasan los gastos de la extracción y en 1.5-2.0 veces los gastos del beneficio (Estenoz, 1994). Los trabajos mineros en el total de los gastos en la producción del metal terminado adquieren un carácter subordinado, pero ellos determinan la calidad del recurso extraído, lo cual en grado considerable influye sobre la magnitud de los gastos en la obtención del concentrado. En todas las formas posibles el monto de los costos para los laboreos mineros oscila entre 14-17 % del total de los gastos y en raras circunstancias sobrepasa el 20 % (Schofield, 1990). Por esto el incremento de la calidad del material inicial implica la disminución del costo del concentrado, y es problema principal a resolver para aumentar los índices económicos en la producción de níquel y cobalto y reducir sus pérdidas en las etapas del tratamiento metalúrgico.

Así en las empresas de la industria de níquel y cobalto las pérdidas de metales durante el beneficio y el procesamiento metalúrgico oscilan entre 17-39 % (Estenoz, 1992).

Las causas principales de las grandes pérdidas de metales, junto a las imperfecciones de las tecnologías de beneficio son:

- a) La sistemática inestabilidad del contenido de los metales en el mineral;
- b) La incorporación en el procesamiento, de minerales difíciles de beneficiar, los cuales integran los flujos de menas que ingresan al proceso metalúrgico en forma de secciones concentradas de cada tipo, reduciendo su compensación mutua y rendimiento en el beneficio;
- c) El cambio de clase del mineral en el proceso de extracción y durante el beneficio;
- d) La falta de ritmo constante en la planta de preparación y la mina;
- e) La ausencia del proceso de homogeneización del mineral antes de la entrega sucesiva de ellos al beneficio y procesamiento metalúrgico.

La calidad del mineral inicial, su valoración integral y el grado de influencia en los índices del procesamiento.

El análisis del contenido de metales en el mineral inicial suministrado a la planta de preparación de pulpa, mostró que los límites de las variaciones de los contenidos promedios en los turnos son considerablemente significativos.

En el yacimiento de Moa, el contenido de los componentes útiles en el macizo varía de la siguiente forma: níquel en 1.00-1.55 %, cobalto en 0.09-0.15 %, hierro en 35-45 %, magnesio en 0.40-0.85 % y aluminio en 3.5-5.5 %.

Como resultado de la carga con excavadoras, de la transportación, de la trituración mecánica, del procesamiento en la planta de pulpa, del mezclado del mineral cribado y lavado en los sedimentadores las características cualitativas del mismo cambian: aumenta la homogeneidad del mineral en el contenido de los diferentes componentes, aunque no de una forma estable. El contenido de níquel en el flujo de mena abastecido a la lixiviación varía de 1.2-9.5 %, el cobalto de 2.5-12.4%, hierro de 0.12-1.10 %, magnesio de 6.5-32.4 % y aluminio de 12-44.5% (Estenoz, 1992).

Indiscutiblemente, tiene lugar algún mejoramiento de la calidad de la mena por el contenido de los componentes útiles como resultado de la extracción y preparación de estos para el procesamiento, sin embargo las oscilaciones cercanas al contenido medio son considerables y no garantizan las condiciones óptimas, ni aun las normales para el beneficio y su procesamiento.



En la práctica en la explotación del yacimiento de Moa la variación del contenido promedio mensual de los componentes útiles en los minerales extraídos es considerablemente pequeña, sin embargo el promedio diario y en especial el promedio por turno varía sensiblemente en el transcurso del mes (fig.1-2).

Para este yacimiento se ha establecido, que con la disminución del grado de homogeneización del contenido relativo promedio (para determinado periodo n) disminuye también la extracción de los componentes útiles en el concentrado y empeora la calidad del mismo (tabla I).

Conociendo el grado de homogeneización del contenido promedio de la mena para la tecnología existente de preparación y extracción, se puede determinar el crecimiento de la extracción de los metales en el licor lixiviado.

CONTENIDO MEDIO DECENAL DE LOS COMPONENTES EN EL MINERAL			
de níquel -- 1.276		de cobalto -- 0.128	
0.0057	95.1	0.00321	95.1
0.0128	94.5	0.00545	94.3
0.0214	93.9	0.00789	93.5
0.0277	93.2	0.00901	92.4
0.0319	92.6	0.00998	91.4
0.0396	92.1	0.01312	90.1
0.0443	90.1	0.01843	88.9
0.0505	88.9	0.02395	87.3

Tabla I. Variación de los índices de extracción de los componentes útiles en el concentrado en dependencia de la magnitud de la desviación estándar del contenido por turno en el mineral procesado en la Planta de Lixiviación, relativo a las decenas, %.

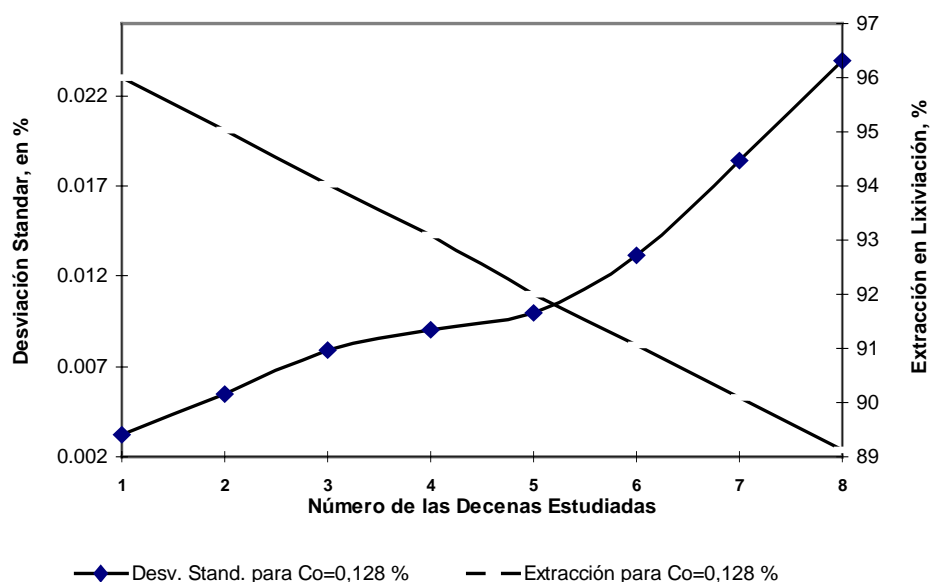


Fig. 1 Contenido medio decenal en el mineral, Co=0,128 %



CONTENIDO MEDIO DECENAL DE LOS COMPONENTES EN EL MINERAL			
de níquel -- 1.3709		de cobalto -- 0.145	
0.00068	96.0	0.00045	96.1
0.00307	95.1	0.00260	94.8
0.00747	94.1	0.00133	93.9
0.01086	93.3	0.00467	93.1
0.01426	92.2	0.00801	92.2
0.01766	91.5	0.01151	91.1
0.02105	90.9	0.01469	90.2
0.02445	90.4	0.01803	89.1

Tabla II. Variación de los índices de extracción de los componentes útiles en el concentrado en dependencia de la magnitud de la desviación estándar del contenido por turno en la pulpa de mineral procesado relativo a la decena, %.

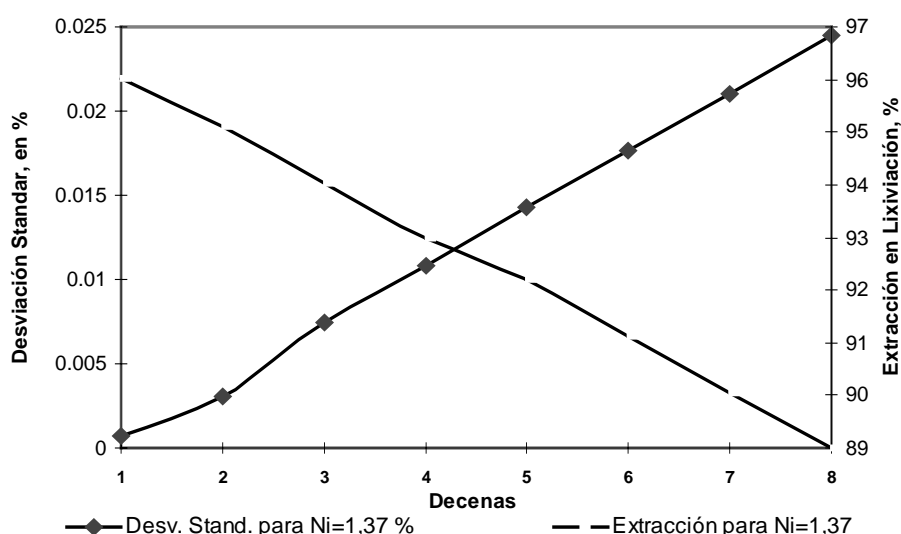


Fig. 2 En decenas con similares contenidos de níquel en el mineral (Ni=1,37%) y diferentes grados de estabilidad de la calidad media por turnos.

Por ello se puede representar en la Fig.2-3 la dependencia entre la extracción de níquel y cobalto en el concentrado y el grado de homogeneización del mineral para los diferentes contenidos de metal en la pulpa. Las gráficas muestran la magnitud de la variación estándar del contenido medio relativo y la extracción en el concentrado para la tecnología de extracción existente (lixiviación ácida) y la preparación del mineral para el procesamiento. Si como resultado de la homogeneización del mineral dado se eleva el grado de homogeneidad en un 50 %, entonces el aumento de la extracción de cobalto en el concentrado (para contenidos promedios de él en el mineral del 0.128 %) representa al menos, más del 3 % de extracción.

Estas relaciones se obtuvieron particularmente para los minerales lateríticos del yacimiento de Moa (fig. 1-3). En principio estos vínculos pueden ser establecidos para cualquier yacimiento, y su respectivo proceso metalúrgico, a partir del procesamiento estadístico de los datos de operación de las fábricas (Galetakis y Kavouridis, 1999). La dependencia mostrada permite afirmar, que la homogeneización de minerales de los metales de níquel y cobalto (contenidos en las minas lateríticas) por el contenido de los componentes útiles, en determinados límites y según el tipo de mineral, permite mejorar considerablemente los índices tecnológicos de la extracción de los metales en correspondencia con el concentrado. Por ejemplo para el níquel un



aumento entre 3÷9 % y para el cobalto entre 5÷12 %, con el incremento simultáneo de la calidad del concentrado (sulfuro).

Estado, métodos e índices de la homogeneización de la calidad del mineral en la empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”

La utilización del proceso de homogeneización en los minerales de esta empresa es necesaria para el tratamiento metalúrgico por diversas razones, pero especialmente por las exigencias bastante rígidas hacia la calidad del mineral y la variación del contenido medio los elementos hierro, magnesio y aluminio.

En el procesamiento de minerales lateríticos, a la magnitud de las oscilaciones del contenido de los componentes útiles hasta los últimos tiempos no se le concedía gran importancia (Estenoz, 1992). Durante la utilización de los métodos tradicionales (cribados y lavados) en el beneficio, se aceptó considerar solo la correlación ya conocida, que mientras mayor contenido promedio de metales en el mineral mejores serán los índices tecnológicos de su beneficio y procesamiento. Aún más, existía el criterio sobre la imposibilidad de mejorar los índices del beneficio por medio de la homogeneización de minerales lateríticos.

Conocida la dependencia general entre el contenido de metales en el mineral y los índices de su procesamiento, es necesario comprender sobre todo, que esta puede ser observada solo en aquel caso en el que el régimen de procesamiento, todo el tiempo se corresponda cualitativamente con el estado (composición) del mineral procesado.

Sin embargo la empresa en estos momentos no está provista de la instrumentación efectiva para el control operativo del contenido de metales en el flujo de mineral y no tiene la posibilidad de regular automáticamente el régimen de beneficio y procesamiento por medio del control de su calidad. Siendo la homogeneización de las menas la única vía que puede significativamente disminuir el límite de las oscilaciones en el contenido del mineral abastecido.

En las investigaciones se comprobó lo racional de la homogeneización, permitiendo cuantificar los efectos de las oscilaciones de los contenidos de los componentes útiles, así como relacionar por medio de la homogeneización los índices tecnológicos del beneficio con los del procesamiento metalúrgico.

Fue establecido por varias razones que no dan lugar a explicación (clima, características del mineral, tecnología metalúrgica, etc.) que no todos los métodos conocidos de la homogeneización, que se utilizan en el país y en las empresas extranjeras, pueden ser empleados en la explotación de yacimientos lateríticos.

La correcta ejecución de los trabajos mineros y la regulación de la sobrecarga en los frentes de extracción, con pocos camiones trabajando simultáneamente, ocupa el lugar de complemento de las instalaciones y procesos de homogeneización de minerales, sobre todo en los períodos lluviosos.

Con este objetivo, en primer lugar, en la base minera, es racional utilizar las tolvas receptoras existentes y los almacenes o depósitos de mineral que existen en la mina.

Finalmente ilustrando la magnitud del problema y sus interrelaciones se muestran los índices de la homogeneización del mineral por el método existente y además, los índices tecnológicos alcanzados en su preparación y tratamiento (tabla III).



CONTENIDO PROMEDIO EN EL MINERAL	DESVIACION A PLANTA DE PULPA	ESTANDAR A SEDIMEN TADORES	GRADO DE HOMOGENEIZACION	EXTRACCION EN EL CONCENTRADO
1.430	0.158	0.0116	11.95	93.83
1.114	0.096	0.0012	61.01	95.57
1.546	0.175	0.0085	32.40	95.21
1.119	0.225	0.0103	19.39	94.41
1.228	0.125	0.0144	9.85	93.75

Tabla III. Índices fundamentales de la homogeneización y el beneficio del mineral de níquel durante la decena en la planta de preparación de pulpa, %.

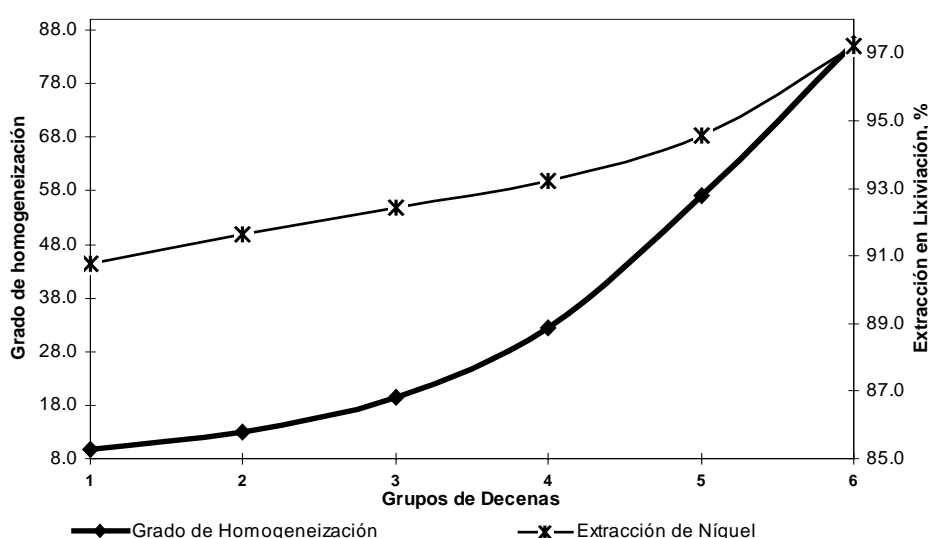


Fig. 3 Influencia del grado de homogeneización del mineral durante el beneficio en la Planta de Preparación Pulpa sobre la extracción de níquel en el proceso de lixiviación ácida a presión.

CONCLUSIONES

1. El yacimiento laterítico de Moa se caracteriza por tener una composición sustancial amplia y variada de los minerales y rocas, de sus propiedades físico - mecánicas y químicas, de la distribución espacial, y considerables oscilaciones del contenido de los componentes útiles, etc. Todo esto crea grandes dificultades tanto en la producción, la extracción del mineral, así como en su procesamiento metalúrgico y en su refinación.
2. La empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" utiliza la homogeneización de las menas lateríticas que se abastecen a la tecnología de lixiviación ácida durante la preparación de la pulpa mineral. Pero en este proceso y en los posteriores a los que se somete la pulpa antes de ser conducida a la planta de lixiviación no se alcanza más del 75 % de homogeneización en el mejor de los casos (Ni o Fe) y como promedio oscila de 25-55 %.
3. Incluso con una exacta planificación de los trabajos de extracción, no se consigue obtener una correlación satisfactoria de los distintos tipos de minerales, y la composición en ellos de los componentes útiles y perjudiciales varían en grandes límites. Internacionalmente se sabe que para garantizar en el flujo de alimentación a la planta metalúrgica, una composición



estable de la masa minera antes de su procesamiento, es necesario la homogeneización del mineral, lo cual es obvio en este caso.

4. Las investigaciones efectuadas para las condiciones del yacimiento Moa permitieron establecer la alta efectividad de la homogeneización del mineral en las diferentes condiciones minero – geológicas y para todo el tratamiento metalúrgico.
5. Al valorar la efectividad de la homogeneización de la calidad del mineral, se determinó que las extracciones de níquel y cobalto en el mineral pueden ser aumentadas entre 2.5-3.5 % y el contenido de éstos en el concentrado entre 4.5-9.5 %.
6. La homogeneización de minerales de níquel y cobalto en almacenes próximos a la mina permite entregar al procesamiento, mineral con la correlación constante de los tipos mineralógicos que a su vez permite el mejoramiento de los índices técnico - económicos de la fábrica.
7. Se considera que la formación de un almacén para homogeneizar encierra consigo el aumento del costo de extracción del mineral. Sin embargo por medio de la liquidación del enlace mutuamente rígido de la organización tecnológica de los trabajos entre la mina y la fábrica se establece la posibilidad de aumentar considerablemente la productividad del equipamiento minero - transportador, el incremento de la intensificación del destape y explotación de los sectores mineros, la disminución de la magnitud de las pérdidas y el empobrecimiento del mineral, lo cual permite reducir los gastos de explotación e incrementar sensiblemente la efectividad del laboreo minero. Por lo que la homogeneización del mineral se revierte en la propia minería, por encima de los resultados del proceso metalúrgico, en los cuales se encuentra de hecho el grueso de las ganancias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Estenoz, S. y S. Bernal: "Estudio de la influencia del grado de homogeneización del mineral alimentado a la fábrica CPSA en los indicadores de lixiviación". Informe de Investigación, CIL, Moa, 1992.
- Estenoz, S. y S. Bernal: "Elevación de la eficiencia metalúrgica y la vida útil del yacimiento, mediante la dirección de la calidad de la materia prima mineral que se alimenta al proceso". Ponencia en GEOMIN-93, ISMM, Moa, 1993.
- Estenoz, S.: "Incremento y regulación de la eficiencia metalúrgica del complejo minero - metalúrgico de la "ECPA", mediante la extracción de clases óptimas de minerales y la formación y dirección de la calidad del flujo de mena a procesar", Informe de Investigación, CIL, Moa, 1994.
- Ferreti C., Grattarola G., "Stockyard Blending", Best of Bulk Solids Handling 1986-1991 (Stacking, Blending and Reclaiming), vol. B/94, pp. 13-25, 1991.
- Galetakis M. "Determination of lignite quality mined from multi-layer deposits applying continuous open cast methods", Ph. D. Thesis, Technical University of Crete.
- Galetakis, M. y Kavouridis, K. "Homogenization of quality of lignite mined from the Ptolmaes-Amynteon lignite basin", Tech. Chron. Sci. J, V, No 1-2, 41-52p., 1999.
- Meléndez V. y Tapia A. "Homogeneización de superpilas de mineral con la metodología Surcos Completos", ponencia en Nickel Cuba, Guardalavaca, 2002.
- Schofield, Ch. G.: "Homogenization/Blending Systems Design and Control for Minerals Processing" en Series on Bulk Materials Handling, The Polytechnic of Leeds, Vol. 3: 320-332, 1990.



EL SECADO SOLAR Y LA HOMOGENEIZACIÓN EN EL SISTEMA DE PREPARACIÓN DE MINERAL DE LA MINA EN LA ECECG

Severo Estenoz Mejías⁽¹⁾, Marianny Espinosa Frómata⁽¹⁾, Niurka Pérez Melo⁽¹⁾, Antonio Cutiño Jiménez⁽²⁾, Alfredo Donatien Carbonell⁽²⁾, Miguel León Mariño⁽²⁾, Maria Isabel García de la Cruz⁽²⁾, Federico Díaz Vega⁽³⁾

Centro de Investigaciones del Níquel, Carretera Moa-Baracoa Km. 6 s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330, Tel. 53-24 67123 y 67976, sestenoz@cil.moa.minbas.cu

Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Carretera Moa-Baracoa Km. 5 s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330, Tel. 53-24 68012

Centro de Proyectos e Ingeniería del Níquel, Carretera Moa-Sagua Km. 1 s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83320, Tel. 53-24 67123

RESUMEN

El uso y explotación de la energías solares, eólicas, el calor natural y otras fuentes naturales cobra particular relevancia en el mundo actual, por cuanto son fuentes limpias de energía que permiten disminuir el impacto ambiental de las fuentes tradicionales.

La implementación de procedimientos y equipos para el secado preliminar de los minerales lateríticos en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se considera como una etapa dentro del sistema de preparación de mineral.

En los estudios de evaluación de la viabilidad económica del secado solar en la región de Moa se efectuó una comparación de las condiciones naturales con respecto a Tocantins, Brasil y Río Tuba en Filipinas. Resultando que el secado solar en Moa tiene mayor potencial energético.

Se diseñó una forma de apilar, remover y recoger las pilas que se adapte a las condiciones del microclima de la región.

En los estudios estadísticos y modelos computarizados se estudiaron el tiempo de secado, el número de hileras y pilas, sus dimensiones y volúmenes, la disposición en el terreno, los horarios y frecuencia para la remoción de las capas de material seco y otros parámetros de productividad y equipamiento.

Con la aplicación del procedimiento, en la Empresa Che Guevara produciendo 52 000 toneladas Ni, se estiman se obtengan 14.7 millones de USD anuales por concepto de ahorro de combustible, además de la reducción en la emanaciones de gases y polvo al medio ambiente.

Palabras Claves: Almacenamiento y homogeneización de minerales, secado solar, materiales a granel.

Abstract

The use and exploitation of the solar, eolic energy, the natural heat and other sources natural cobra particular relevance in the current world, since they are clean sources of energy that allow to diminish the environmental impact of the traditional sources.

The implementation of procedures and teams for the preliminary drying of the laterite ore in the mine of the Company Comandante Ernesto Che Guevara is considered like a stage inside the system of mineral preparation.

In the studies of evaluation of the economic viability of the solar drying in the region of Moa a comparison of the natural conditions was made with regard to Tocantins, Brazil and River Tuba in Philippine. Being that the solar drying in Moa has bigger energy potential.

You designs a form of heaping, to remove and to pick up the piles that adapts to the conditions of the microclima of the region.

In the statistical studies and on-line models were studied the time of drying, the number of arrays and piles, their dimensions and volumes, the disposition in the land, the schedules and frequency for the removal of the layers of dry material and other parameters of productivity and equipment.

With the application of the procedure, in the Company Che Guevara producing 52 000 tons Neither, they are considered they obtain 14.7 million annual dollars for concept of saving of fuel, besides the reduction in the emanations of gases and powder to the environment.

Key words: Storage and blended of minerals, solar drying, ore and bulk material.



Introducción

La implementación de secado solar en la industria minera representa un considerable ahorro de energía y la reducción ostensible de las emanaciones de gases tóxicos y aerosoles a la atmósfera.

La aplicación del secado solar en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, en adelante ECECG, ha sido considerada a partir de la inserción en el Sistema de Preparación Integral del Mineral, el cual considera el aprovechamiento integral de los recursos minerales, el desarrollo de una minería de excelencia y la entrega de la materia prima a la industria con el mayor grado de calidad.

Metodología de la investigación

El sistema de preparación integral del mineral en la ECECG incluye dentro de sí tres elementos fundamentales: una minería flexible y de precisión que permita considerar los parámetros de calidad y los cambios del mercado internacional, un proceso de beneficio en varias etapas adecuado a las etapas del control de calidad de la materia prima y relacionados ambos con las etapas de secado solar y homogenización.

La inserción de las operaciones del secado solar y al homogeneización dentro del sistema de preparación integral del mineral se pueden observar en el esquema general de la Fig. 1.

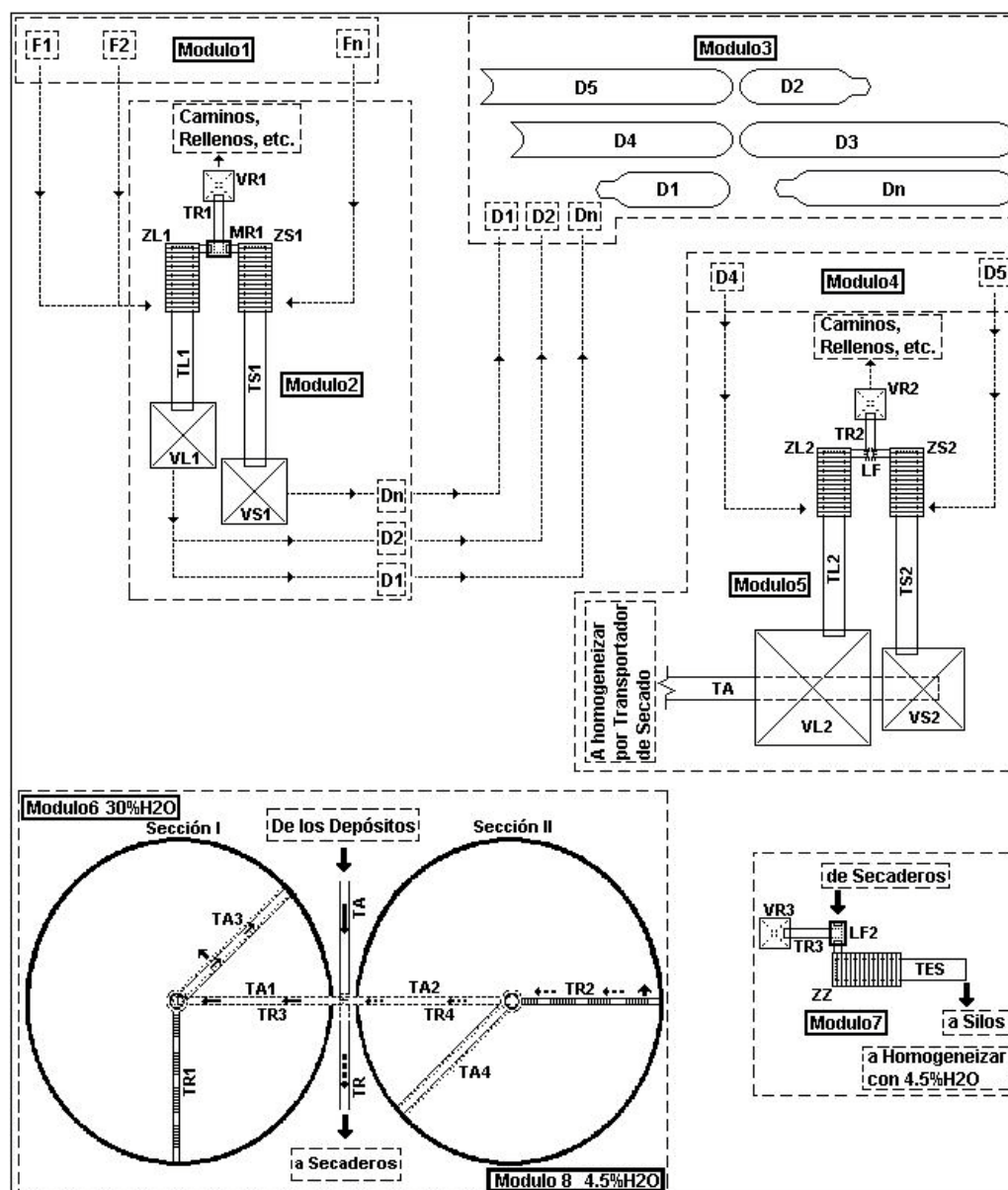


Fig. 1 Esquema general del sistema de preparación integral del mineral para la ECECG, donde se agrupan por módulos las diferentes operaciones: **Módulo 1**, Minería Separada de LB y SB (F1- primer frente de minería, F2- segundo frente de minería, Fn- enésimo frentes de minería); **Módulo 2**, Estación Separación Primaria (ZL1- separador de la LB, ZS1- separador de la SB, MR1- triturador de quijada hasta 40mm, TR1- transportador de rechazo, VR1- tolva de rechazo, rocas trituradas, TL1- transportador de mineral de LB, TS1- transportador de mineral de SB, VL1- tolva del mineral fino (-150mm) para LB, VS1- tolva del mineral fino (-150mm) para SB, D1- mineral al primer depósito de secado y mezcla, D2- mineral al segundo depósito de secado y mezcla, Dn- mineral al enésimo de depósito de secado y mezcla); **Módulo 3** Depósitos de Secado Solar y Mezcla (D1 y D2- primer y segundo depósitos de mineral, D3, D4 y D5- tercer, cuarto y quinto depósitos de mineral, Dn- enésimos depósitos de mineral), **Módulo 4** Pre-mezcla de los depósitos de secado, (D4- recogida de mineral LB en los depósitos de secado, D5- recogida de mineral SB en los depósitos de secado), **Módulo 5** Proceso de Beneficio en húmedo (ZL2- separador de LB de las rocas +40mm, ZS2- separador de la SB de las rocas +40mm, LF- limpiador de la fracción +40mm, TR2- transportador de rechazo, VR2-



tolva de rechazo de las rocas limpiadas de +40mm, TL2- transportador de mineral de LB, TS2- transportador de mineral de SB, VL2- tolva del mineral fino (-40mm) para LB, VS2- tolva del mineral fino (-40mm) para SB, TA- transportador de mineral de alimentación a secaderos o (a la homogeneización en húmedo). **Modulo 6 Homogeneización en Húmedo** (TA- transportador de Alimentación, TA2 y TA3 transportadores de alimentación de la sección I y sección II, TA4 y TA5 apiladores de mineral de la sección I y II, TR1 y TR2 reclamadores de mineral de la sección I y II, TR3 y TR4 transportadores de recogida de la Sección I y II, TR5 transportador de entrega; **Modulo 7, Proceso de Beneficio en Seco** (ZZ- separadores de la fracción +10mm (1÷4), LF2- limpiadores de la fracción +10mm (1÷2), TR3- transportador de rechazo, VR3- tolva de rechazo 28m³, TES- transportador de entrega a silos; **Modulo 8 Homogeneización en Seco** (TA- transportador de Alimentación, TA2 y TA3 transportadores de alimentación de la sección I y sección II, TA4 y TA5 apiladores de mineral de la sección I y II, TR1 y TR2 vibrarecogedores de mineral en sección I y II, TR5 transportador de entrega o transporte neumático a los silos)

Secado Solar del mineral

En las investigaciones realizadas para desarrollar los modelos y diseños del equipamiento y los procedimientos del secado solar del mineral en la ECECG se efectuó una comparación entre las condiciones de naturales de Moa y otras dos minas que utilizan la energía solar y eólica, Rio Tuba en Filipinas y Toncantins en Brasil.

Los objetivos para el desarrollo de los modelos y diseños del secado solar del mineral en la ECECG fueron:

- aprovechar al máximo la energía solar, el calor natural y la energía eólica;
- obtener la mayor productividad del secado por unidad de superficie mediante el destape periódico de las pilas.
- regular y controlar los taludes y parámetros de las pilas, de tal forma que se puedan adecuar a las variaciones climáticas y las irregularidades en los regímenes de precipitación.

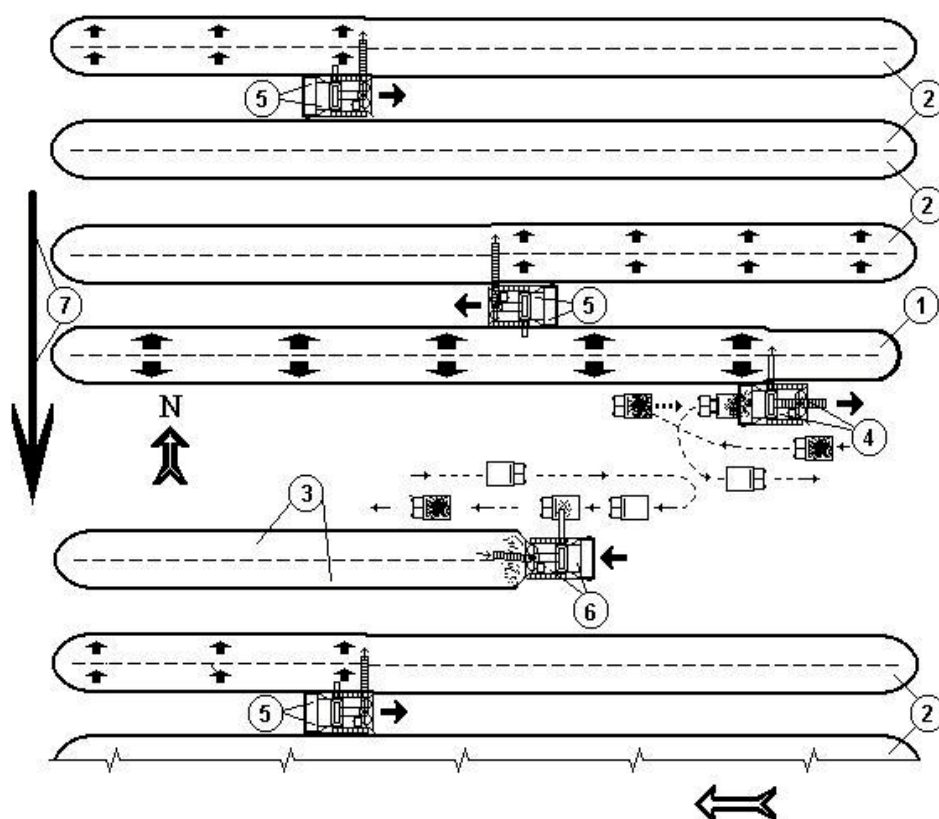
El procedimiento de secado a la intemperie consta de tres etapas, en la primera de las cuales se produce la disposición espacial y el apilado de las pilas de mineral. Las pilas durante el apilado se forman continuamente por capas longitudinales.

En la segunda etapa se realiza el destape por capas del material secado en la superficie de la pila, lo cual provoca el desplazamiento periódico y continuo de las pilas en la dirección hacia donde se deposita cada capa de material seco.

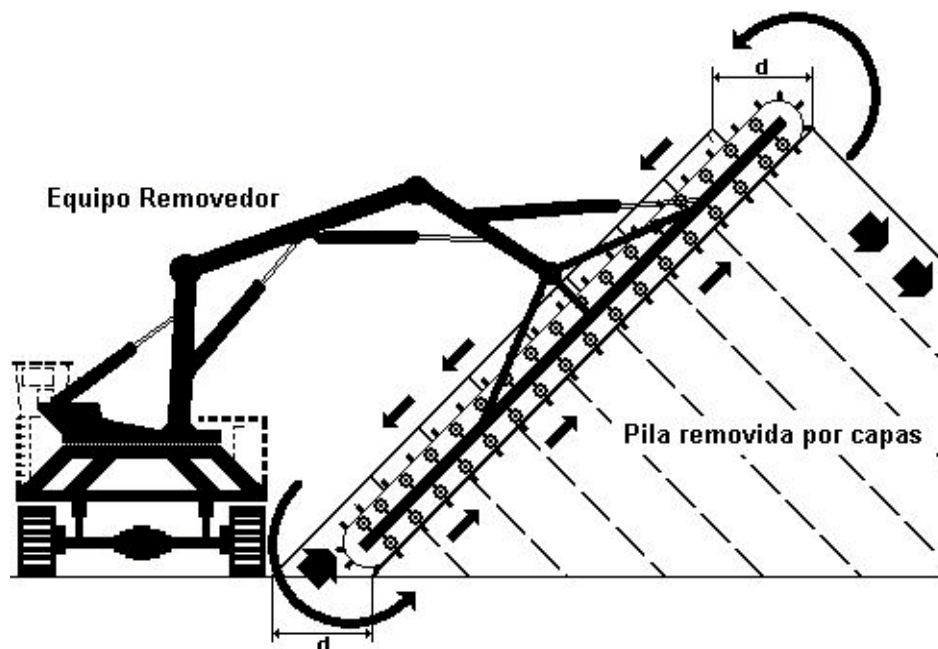
En la tercera etapa se procede a la recogida del material seco.

Estas operaciones permiten mantener de forma continua y estable la máxima capacidad de recepción de material húmedo y la máxima entrega de material seco, así como la continuidad y constancia del proceso de destape en dependencia de la disponibilidad de energía.

En la Fig. 2 se ilustra una forma particular de organizar el apilado, secado y recogida del material húmedo y seco con equipos de apilado, remoción y recogida.



La Fig. 2, Disposición espacial esquematizada del conjunto de operaciones del procedimiento; Leyenda: 1. Pila en formación y amontonamiento, 2. Pilas en remoción durante el secado, 3. Pila en la etapa de recogida, 4. Equipo para el apilado, 5. Equipos para la remoción, 6. Equipo para la recogida, 7. Dirección de avance del frente de apilado y recogida durante el proceso de secado.



La Fig. 3, corte transversal del equipo de remoción sobre la pila de mineral.



La homogeneización del mineral

Los objetivos del procedimiento de homogeneización y almacenamiento del mineral para la ECECG son:

- incrementar y estabilizar la calidad en los flujos de material homogeneizado a entregar para mejorar los sistemas de corrección y registro de calidad de material y la eficiencia de las operaciones y procesos metalúrgicos.
- aprovechar al máximo el espacio disponible y simplificar los procesos de automatización e informatización;
- perfeccionar el proceso de apilado y repartición del flujo de material para acrecentar la capacidad de recepción y entrega de material;

La elección del área circular responde a la necesidad de aprovechar mejor el espacio por la necesidad de techar el depósito de mineral, aunque en virtud de los beneficios que reporta podría construirse en secciones longitudinales, con tan solo un incremento máximo de los costos en un 19%, por concepto del techado y las paredes.

Los procesos de apilado y repartición están desligados de la recogida de las pilas de material y de su evacuación hacia la industria, lo cual permite dirigir las mezclas y niveles de homogeneización en los flujos de salida de acuerdo a los requerimientos y exigencias industriales de cada período.

En las Fig. 4a se muestra el diseño de los equipos principales y la organización general del proceso de homogeneización y almacenamiento del mineral para la ECECG.

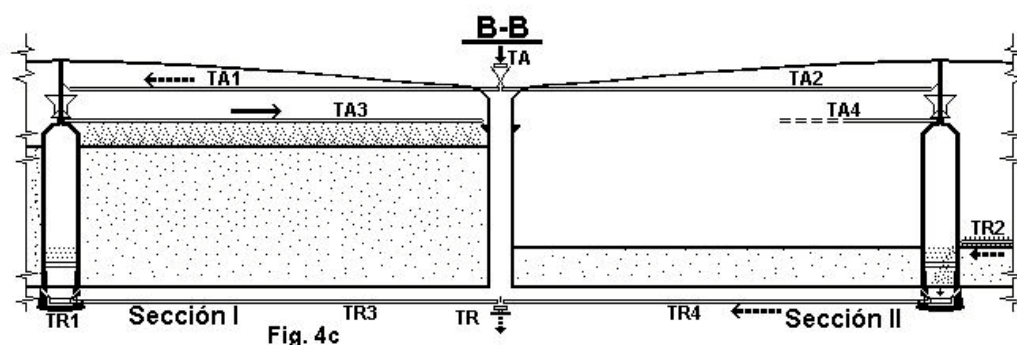
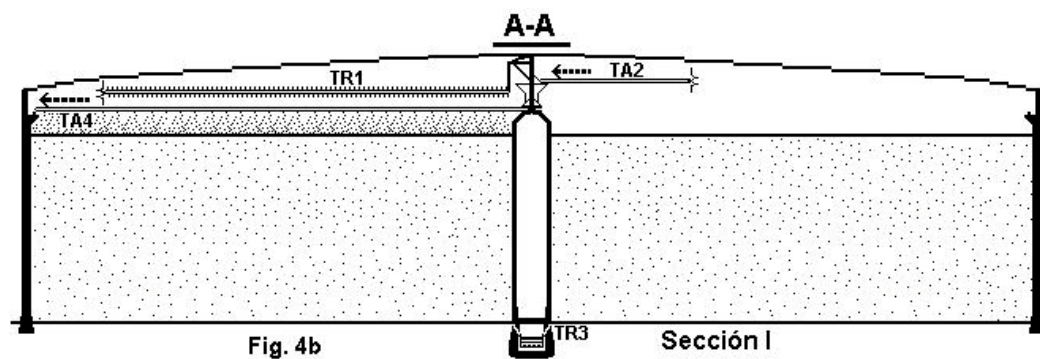
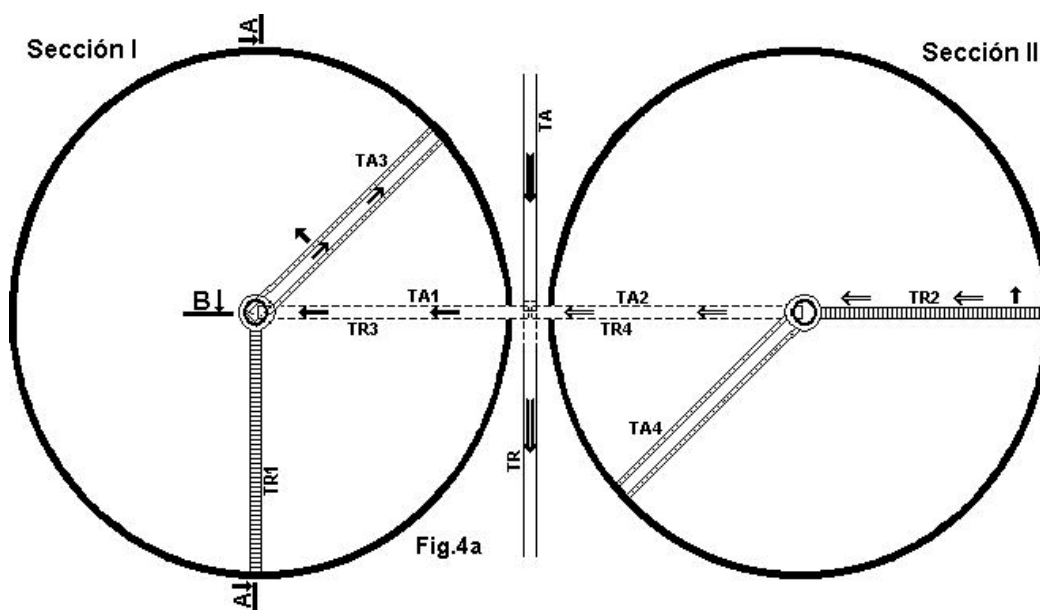


Fig. 4. Instalación de homogeneización: Fig. 4a. Conjunto de la instalación vista en planta; Fig. b. vista en sección transversal desarrollada en corte longitudinal a la dirección del brazo de apilado en una sección de almacenamiento en particular; Fig. 4c. vista en sección transversal desarrollada en corte longitudinal de la dirección de los transportadores de banda y las paredes interiores de ambas secciones de almacenamiento. Leyenda: TA- transportador de alimentación; TA1- transportador de alimentación hasta el apilador en la sección I; TA2- transportador de alimentación hasta el apilador en la sección II; TA3- apilador de mineral de la sección I; TA4- apilador de mineral de la sección II; TR1- reclamador de mineral en la sección I; TR2- reclamador de mineral en la sección II; TR3- transportador de recogida en la sección II;



TR4- transportador de recogida en la sección II; TR- transportador de entre de mineral desde el almacén homogeneizador.

Conclusiones

1. Las condiciones geográficas y climáticas de los depósitos mineros en los yacimientos asignados a la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara permiten el secado a la intemperie de los minerales durante casi todo el año, siendo la temporada de febrero a octubre la más favorable.
2. En la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se disponen actualmente más de 750 mil metros cuadrados de superficie donde se puede secar y almacenar más de 3.3 millones de toneladas de masa mineral.
3. En el secado a la intemperie del mineral en los depósitos mineros de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se puede disminuir un 24% la humedad inicial del mineral.
4. En pilas con 7 metros de alturas, 40-45 grados de talud y capas de 15 cm de espesor durante su amontonamiento se pueden secar 4.4 toneladas anuales de mineral por metro cuadrado de superficie disponible
5. La instalación y procedimiento de homogeneización diseñados se puede usar para el procesamiento de minerales terrosos, independientemente de su grado de adhesión y aglomeración.
6. La aplicación en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara del secado solar generaría entre 14 y 17 millones anuales y unos 10 millones por el procesamiento de mineral homogeneizado a más de 90 grados.

Bibliografía

- Georg F. O.H. Murry and W.T. Halzhauer, "Combination stockpiler reclaimer", Patent US, No.3 601 244, 1969.
- Frommholz, W., "Verfahren zum Aufschütten und gleichzeitigen Homogenisieren von Schüttgut in einer im wesentlichen endlosen Rundhalde", Patente Alemana No.3 011 349 (C2), 1983.
- Estenoz, S.M., "Descripción, caracterización y valoración de los flujos y procesos", Informe Final Etapa 03 del Proyecto de I+D: "Incremento y regulación de la eficiencia económica del complejo minero-metalúrgico", CIL, Moa, 1997.
- Estenoz, S.M., "Incremento y regulación de la eficiencia económica del complejo minero-metalúrgico", Informe Final de Proyecto SEMMI, CIL, Moa, 1999.
- Estenoz, S.M., N. M., Pérez y E. M., Rondón. "Procedimiento para estabilizar y secar los flujos de mena durante el abasto al proceso metalúrgico", Evento IX Sesión Científica, CIL, Moa, 1999.
- Estenoz, S.M., N. M., Pérez y E. M., Rondón, "Procedimiento de homogeneización y secado solar de materiales a granel e instalación requerida", Solicitud de invención cubana No. 208, OCPI, La Habana, 1999.
- Estenoz, S.M., "Procedimiento y equipo para secado solar de materiales a la intemperie", Solicitud de invención cubana No. 175, OCPI, La Habana, 2001.



NUEVA VARIANTE DE EXPLOTACIÓN DEL CROMO UTILIZANDO EL METODO DE MINERIA POR CHIMENEA.

Ricardo L. Ricardo Avila⁽¹⁾, Alberto Barthelemy Correa⁽¹⁾, Pavel Laurencio Cala⁽²⁾

Empresa Cromo Moa, Km16 Quemado del Negro, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83330, Tel. 53-24 68108 y 67269, ricardo@moa.minbas.cu

Centro de Proyectos e Ingeniería del Níquel, Carretera Moa-Sagua Km. 1 s/n, Moa, Holguín, Cuba ZIP 83320, Tel. 53-24 66238, pl Laurencio@ceproni.moa.minbas.cu

RESUMEN

El empleo de plataformas trepadoras para el laboreo de Contrapozos Largos se consolida en nuestro país a partir del mes de noviembre del 2000, fecha en que se pone en funcionamiento la primera unidad montada en la Mina Las Mercedes, perteneciente a la Empresa Cromo Moa del MINBAS.

Por su seguridad, bajo costo y velocidad, el método Alimak, pasó inmediatamente a sustituir el método convencional de barrenos cortos.

Después de sufrir los daños y secuelas de 10 años almacenamiento y sin experiencia en estos trabajos, se logró recuperar, montar y poner en funcionamiento 2 Plataformas Trepadoras del tipo BB RP-44, de nacionalidad Eslovaca, llegadas a nuestro país a inicios del año 1990.

Los trabajos continuaron hasta llegar a acoplar una máquina de Barrenación Profunda de la firma Longyear sobre la plataforma de trabajo del Alimak y de esta forma aplicar la variante conocida mundialmente como Método de Minería por Chimeneas para el arranque de la masa minera.

La empresa ECROMOA hace suyo este método convirtiéndolo en una nueva variante de explotación. Se estima se obtengan una mayor productividad con un mayor seguridad del trabajo.

Palabras Claves: Método de minería por chimenea, Alimak, Longyear Mayor productividad, Seguridad del trabajo.

Abstract

The employment of climbers platforms for the farm work of Long Contrapozos consolidates in our country starting from month of November of the 2000, it dates in that puts on in operation the first unit mounted in the Mine The Mercedes, belonging to the Company Chrome Moa MINBAS.

For their security, low cost and speed, the method Alimak, passed immediately to substitute the conventional method of short drill.

After suffering the damages of 10 year-old storage and experience in these works, we recover, to mount and to put into operation 2 Platforms Climbers of the type BB RP-44, of Slovak nationality, arrivals to our country 1990.

The works continued until to start a machine of Deep drill of the signature Longyear over the platform of work of Alimak and this way to apply the well-known variant worldwide as Method of Mining for Chimneys.

The company ECROMOA makes his this method. We seek to obtain a bigger productivity with a bigger security of the work.

Key words: Mining method for chimney, Alimak, Longyear bigger productivity, Security of the work.



1. Introduccion

El presente Proyecto tiene como finalidad servir como documentación técnica que permita la ejecución de las obras de preparación de 3 Cámaras de Explotación (34, 37 y 38) del Lente No.1, con unas reservas total de 42.24 MT, así como la explotación racional de las mismas a través del socavón M-1.

Los datos básicos que se utilizaron para la elaboración del Proyecto fueron dados por la Sección de Geología de la Mina Merceditas., los cuales se obtuvieron como resultado del Informe del Proyecto de Exploración Detallada subterránea Merceditas nivel +285 Lentes 1 y 7 Además se utilizarán en los trabajos de Explotación, Obras Mineras que fueron construidas para los trabajos de Exploración Geológica.

Este proyecto de explotación por la complejidad geológica que presenta el cuerpo mineral, constara con dos métodos de explotación, uno de Minería por Chimeneas y el otro por el método Convencional con la utilización de la Barrenación Profunda.

2. Metodo Convencional con Barrenacion Profunda.

Después de terminada la ranura de corte a todo el ancho y altura de la cámara se comenzaran los trabajos de explotación. En este método la perforación de los barrenos se realizará desde la galería de corte hasta todo el ancho y alto de la cámara en capas verticales, ya sea en abanicos o en forma de anillos, en dependencia de la potencia del cuerpo y a la ubicación de la galería de corte. Esta barrenación permite iniciar la voladura de una o varias filas, independientemente de haber terminado o no toda la perforación de los barrenos en la longitud de la galería de corte. En este método es recomendable realizar la voladura de varias filas para obtener una granulometría optima para el resto del proceso productivo.

3. Metodo de Explotación Por Chimeneas.

El método de Minería por Chimeneas utilizando el equipo Alimak esta orientado para la explotación de cuerpos minerales angostos con buzamientos verticales o inclinados hasta 45° . Este método fue descrito por la Universidad Técnica de Lulea, Suecia.

4. Descripción del Método.

En este método el equipo de perforación se instala sobre la plataforma de trabajo del Alimak realizándose desde ahí la perforación de los barrenos en forma de abanicos horizontales.

El procedimiento normal es iniciar la perforación de los barrenos en forma de abanicos en la parte inferior del contrapozo de explotación. Se recomienda efectuar la voladura de varias hileras o anillos simultáneamente para obtener una buena fragmentación sin arriesgar la continuidad del proceso de perforación de los barrenos en el resto del contrapozo.

La carga y disparo de las sustancias explosivas tiene que ser muy bien planificado y coordinado con las otras operaciones del proceso productivo con el fin de lograr una producción continua y sin riesgo para la vida de los trabajadores.



5. Características Técnicas de los Equipos.

Características Técnicas de la Long Year.

- ▶ **Nacionalidad:** South África.
- ▶ **Avance:** Por tornillo sin fin seco de 2 mts de largo.
- ▶ **Longitud del bastidor (mm):** 3000
- ▶ **Tipo de maquina de barrenación:** S36 IR
- ▶ **Peso de la Maquina (Kg):** 120
- ▶ **Consumo de Aire (M³/min):** 14
- ▶ **Diámetro de la broca (mm):** 50
- ▶ **Velocidad de perforación (M/min):** 0.20

Características Técnicas del Alimak.

- ▶ **Nombre:** Plataforma Trepadora BB RP-4.
- ▶ **Nacionalidad:** Eslovaca.
- ▶ **Año de fabricación:** 1988
- ▶ **Tipo de máquina:** Máquina especial para el laboreo minero de contrapozos.
- ▶ **Longitud máxima de laboreo:** 160 metros.
- ▶ **Cantidad de personas a transportar:** 2.
- ▶ **Carga máxima:** 375 kg
- ▶ **Tipo de motor:** P 7.5 – 12.
- ▶ **Potencia del motor:** 7.5 Kw
- ▶ **Velocidad de ascenso:** 10 m/min.
- ▶ **Velocidad de descenso con el control del motor:** 15 m/min.
- ▶ **Velocidad de descenso por gravedad:** 25 – 30 m/min.
- ▶ **Consumo máximo de aire:** 12.3 m³/mín.
- ▶ **Consumo nominal de aire:** 10.4 m³/mín.

6. Comparación de los Indices con el Método Convencional.

INDICES	M.CONVENCIONAL	M.CHIMENEA
Preparación(%)	2-4	14
Corte(%)	10-18	5
Extracción de Pilares	17-21	40-50
Arranque	37-51	80-90
Coef. Lineal de preparación (m/1000 tn)	20-30	10
Coef. Volumetrico de preparación (m ³ /1000 tn)	27-48	40
Coef. Lineal de corte	2-4	3
Coef. Volumetrico de corte	27-48	17



PROGRAMA DE CONTROL DE EROSION Y SEDIMENTOS EN LA EMPRESA MOA NICKEL S. A. PEDRO SOTTO ALBA

Ramón Polanco Almanza⁽¹⁾, Anderson Phillips⁽²⁾, Sean Spraggett⁽²⁾

(1) Empresa Moa Nickel S. A. Pedro Sotto Alba. Carretera del Puerto S/N, Moa Holguín.
rpolanco@moanickel.com.cu

(2) Knight Piésold Consulting Box 10-34 Commerce Cres. North Bay, Ontario P1B 8G8
aphillips@knightpiesold.com, sspraggett@knightpiesold.com

RESUMEN

El yacimiento Moa Oriental desde el comienzo de su explotación en octubre del 2002 se convirtió en el principal suministrador de mineral a la planta metalúrgica, la topografía de la zona es suavemente ondulada con descenso de norte a sur. Hacia el oeste el yacimiento limita con el río Moa, hacia el este existen los arroyos Los Lirios y Jicotea, internamente el área es surcada por varios arroyos de menor orden que incrementan el potencial de arrastre de sedimentos hacia el río Moa y el poblado La Veguita.

El desarrollo del yacimiento Zona A comenzó en 1998, aquí el relieve es más regular, las elevaciones se incrementan gradualmente de norte a sur. El río Cabañas limita el yacimiento por el norte y el camino principal hacia la Planta de Pulpa lo limita por el oeste.

El principal objetivo es proteger al medio ambiente de los impactos negativos causados por la minería, entre los objetivos generales tenemos:

- Minimizar la carga de sedimentos desde las operaciones mineras al ambiente.
- Integración del PCES con la planificación de las operaciones mineras.
- Reducir el mantenimiento de la infraestructura minera mediante el control de erosión.
- Establecimiento de superficies rehabilitadas estabilizadas.

La incorporación de las técnicas de control de erosión durante la ejecución de la minería puede reducir sustancialmente el volumen de sedimentos producidos y emanados al medioambiente, la integración de las medidas de control de erosión con la planificación minera puede reducir los costos e incrementar la eficiencia del proceso.

ABSTRACT

Moa Nickel commenced development of the Moa Oriental mining area in October 2000. Mining concession can be characterized as smooth, undulating topography with a gradual relief upward from north to south. Towards the west, the topography becomes steep near the Moa River. To the east the topography has gentler slopes directed toward Los Lirios Creek. Internally, the area is divided by creeks that transport runoff and sediment towards the Moa River.

The development of Zona A mining area started in 1998. It has more regular relief and the elevation gradually increases from north to south. The Cabana River limits the Northern extent of the mining area.

The site frequently experiences high intensity rainfall events during the wet season of each year. Average rainfall is estimated to be in the order of 2000 mm with the majority of rain falling in October and November.

The objectives of the ESCP are as follows:

- To minimize sediment loading to the environments downstream of the mining activities.
- To fully integrate the erosion and sediment control measures with the mine planning and operations.



- To provide long-term post-mining erosion and sediment control measures

The incorporation ESCP during mining can substantially reduce the volume of eroded sediment produced and transported to the downstream environment. By integrating the erosion and sediment control measures with the mine planning and operations, production efficiency can be maintained and costs for the construction of the erosion and sediment control measures can be minimized

Introducción

Históricamente, no se le había prestado mucha atención a la disminución de los impactos medio ambientales asociados con la erosión y la sedimentación que se derivan de las operaciones mineras. Sin embargo, la Moa Nickel S.A. está implementando medidas en aras de mejorar progresivamente el comportamiento medioambiental de las operaciones mineras para cumplir con los estándares internacionales relacionados con el medio ambiente. Como parte de las mejoras medioambientales, se está llevando a cabo un Programa de Control de Erosión y Sedimentación (PCES) para un nuevo desarrollo minero en los yacimientos Moa Oriental Y Zona A. El control de la erosión y los sedimentos en estos yacimientos es un reto importante debido a la topografía abrupta, las intensas lluvias y las alteraciones en las grandes áreas de la superficie asociadas a las actividades mineras, además de la cercanía inusual de asentamientos poblacionales en los alrededores de los yacimientos.

Principios Generales

- Para lograr un Programa de Control de Erosión y Sedimentación Efectivo durante la ejecución de las operaciones mineras se deben asegurar los siguientes aspectos:
 - Minimizar las Perturbaciones.
 - Control de Drenaje.
 - Prevención de la Erosion.
 - Recolección de Sedimentos.
 - Rehabilitación Progresiva.
 - Implementación de las medidas en el campo en el Campo.

Objetivos del Programa de Control de Erosión y Sedimentos (PCES)

- Minimizar la carga de sedimentos provocada por as operaciones mineras al ambiente.
- Integración del PCES con la planificación de las operaciones mineras para mantener la eficiencia en la producción.
- Reducir el mantenimiento de la infraestructura minera mediante el control de erosión.
- Establecimiento de superficies rehabilitadas estabilizadas y protegidas que requieran el mínimo o ningún mantenimiento.
- Utilización de materiales locales en el diseño y construcción.
- Implementación de soluciones de costo efectivas.

Información Inicial de Diseño

- Hidrología - determinar el diseño de los flujos.
- Topografía - determinar las áreas de recolección de agua y localización de los componentes del PCES.
- Suelos - determinar los requerimientos de control de erosión y sedimentación.
- Vegetación predominante de la zona - para la rehabilitación a largo plazo.
- Plan de Minería - entender los cambios del paisaje por las operaciones mineras.



- Control de Sedimentación:
Eliminación de partículas mayores de 0.02 mm.
- Medidas a corto plazo (6-12 meses de vida para el período operacional):
Tormentas con probabilidad de ocurrencia de 1 en 5 años para el control de sedimentos.
- Medidas a largo plazo (< 10 años para el período de rehabilitación):
Tormentas con probabilidad de ocurrencia de 1 en 10 años para el control de sedimentos.
Tormentas con probabilidad de ocurrencia de 1 en 50 años para la capacidad del aliviadero.

Lineamientos del Programa de Control de Erosión y Sedimentos (PCES)

- Las medidas de PCES deben ser diseñadas y construidas progresivamente para cada fase de minería.
- Las medidas a largo plazo como canales de desvío/colección y lagunas de sedimentación se deben construir en el perímetro de las áreas mineras y ser mantenidas hasta el total cumplimiento de la rehabilitación.
- Las medidas a corto plazo se emplearán en las áreas mineras activas para ayudar a minimizar la erosión y sedimentos que van a las lagunas de sedimentación.
- Las medidas a largo plazo como la sedimentación de cuencas río abajo deben ser sacadas de servicio después de establecer la vegetación en superficies recuperadas y después de tener el terreno en condiciones pre-minadas.
- Se requiere de varios componentes o medidas para la incorporación al PCES.
- Cada componente tiene funciones determinadas incluyendo el control de los drenajes, prevención de la erosión y/o recolección de sedimentos.
- Todos los componentes trabajan de conjunto para minimizar la erosión y evitar los sedimentos provenientes de las descargas.
- Diseño de Componentes y Construcción.

Estado actual del PCES en Pedro Sotro Alba

La concesión minera de la empresa Pedro Sotro Alba cuenta con 6 yacimientos, el último en entrar en explotación es Moa Oriental que lo hizo en octubre del año 2000, en esta caso cada fase de minería llevaba implícito su PCES, la situación actual es la siguiente:

- Fase 1. 7 Piscinas de sedimentación diseñadas. 6 Piscinas de sedimentación ejecutadas.
2 Escombreras diseñadas. 1 escombrera ejecutada totalmente y rehabilitada, 1 escombrera ejecutada parcialmente.
- Fase 2. 4 Piscinas de sedimentación diseñadas. 3 Piscinas de sedimentación ejecutadas.
1 escombrera ejecutada parcialmente.
- Fase 3. 5 Piscinas de sedimentación diseñadas. 1 Piscina de sedimentación ejecutada parcialmente.

Yacimiento Zona A

Entró en explotación en el año 1997, el PCES solo se aplicó en el año 2002, se diseñaron 12 piscinas de sedimentación en la fase 1 y se han ejecutado 9, la fase 2 debe abarcar el resto del yacimiento, se construye una escombrera con capacidad de diseño de $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Conclusiones

- La adecuada planificación e implementación del PCES antes y durante la minería puede reducir los impactos en gran amplitud.
- La planificación debe ser proactiva y no reactiva. La planificación con antelación puede ahorrar tiempo y dinero.



- Se deben asignar los recursos adecuados para asegurar la exitosa implementación.
- El compromiso para la reclamación progresiva de áreas y la revegetación es importante para el éxito a largo plazo.
- La integración del PCES dentro de la planificación minera puede reducir gran parte de los costos de su implementación.



ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA DILUCIÓN EN YACIMIENTOS LATERÍTICOS CUBANOS".

Francisco Serrano Coello.

Empresa del Níquel "Cmdte René Ramos Latour"

RESUMEN

Se expone el desarrollo de un trabajo analítico sobre la estructura de la Dilución sustentando la hipótesis de que este proceso puede evaluar integralmente la eficiencia con que son asimilados los recursos minerales cubanos de corteza de intemperismo.

Se fundamenta así el criterio invariable de que la Dilución es un proceso que se integra no solamente de las desviaciones reales inherentes a la minería como actividad humana.

Como fundamentación básica de referencia se toma el concepto de Control de Calidad aplicado a los procesos geológicos y mineros y se demuestra que su uso actualmente es insuficiente para lograr un mayor acercamiento a la certificación del grado de confirmación tanto de los recursos y reservas como de las inferencias y pronósticos asociados a resultados conclusivos de cada etapa.

Como herramienta para aplicación de estas experiencias a otras condiciones se brinda un programa de computación para procesar automatizadamente bases de datos de esas zonas que contengan informaciones de trabajos mineros básicos de prospección geológicas.

Los resultados permiten mejorar los criterios de planificación minera, con evaluación industrial, argumentando mecanismos de dirección objetiva de los procesos integrantes del referido Sistema de Explotación.

ABSTRACT

Structural Analysis of the Dilution in ores of nickel and Cobalt of Cuba.

The development of an analytic work is exposed on the structure of the Dilution sustaining the hypothesis of this process it can evaluate the efficiency integrally, with which the Cuban mineral resources of bark of elements are assimilated.

It is based this way the invariable approach that the Dilution is a process that is integrated not only from the inherent real deviations to the mining like human activity.

As basic foundation of reference he/she takes the concept of Control of Quality applied the geologic processes and miners and it is demonstrated that their use at the moment is insufficient to achieve a bigger approach to the certification of the so much degree of confirmation of the resources and reservations like of the inferences and presage associated to conclusive results of each stage.

As tool for application of these experiences to another conditions you offers a calculation program to process databases of those areas that contain geologic information of basic mining works of prospecting. The results allow improving the approaches of mining planning, with industrial evaluation, arguing mechanisms of objective address of the integral processes of the referred System of Exploitation



CONTROL DE LA DILUCION EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA

Arturo Arderil Garcia(1)) y Maria Isabel Garcia De La Cruz(1).

(1) Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Yagrumaje Carretera Moa Baracoa, Punta Gorda, Moa, Holguin, Cuba, E-mail: aarderil@ecg.moa.minbas.cu

(1) Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Yagrumaje Carretera Moa Baracoa, Punta Gorda, Moa, Holguin, Cuba, E-mail: aarderil@ecg.moa.minbas.cu

RESUMEN

El control y regulación de la dilución en la calidad del mineral que se abastece al proceso industrial es factor rector de la eficacia del proceso de extracción minera y parámetro básico para el máximo aprovechamiento de las capacidades metalúrgicas instaladas.

Para la realización de los estudios y valoraciones del proceso minero se utilizaron los datos de operaciones, los modelos y redes de geológicas, la observación y fotografía de campo en la explotación de los diferentes equipos de extracción, las datas periódicas de control minero, así como las características y potencialidades técnicas de los diferentes equipos, Toda la información fue procesada y simulada en diferentes sistemas y modelos en computadoras.

Se hace énfasis en los factores que inciden en la disminución de las pérdidas de leyes, en la introducción de nuevos métodos y tecnologías como factores para reducir este indicador, el cual incide directamente eficiencia de la explotación y el aprovechamiento racional de los recursos minerales.

La dilución en el yacimiento Punta Gorda, asignación principal de materia prima a la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara, ha sido reducida en más de seis veces.

Palabras Claves: Mineral, laterita, dilución, calidad.

ABSTRACT

The dilution control and regulation in the quality of the ore that is supplied to the industrial process, is a main factor for the mining extraction process effectiveness and it is a basic parameter for the maximum use of the metallurgical capacities installed.

The operating data, the geological networks and models, the observation, field photography for the several extraction equipment in operation, mining control periodic data, as well as the several equipment technical characteristics and technical potential, were used in order to carry out the mining process research and appraisals. All the information was processed and simulated in different systems and models in computers.

The factors which influence on the reduction of ore grade losses, the Introduction of methods and technology, as factors to reduce this indicator, that influence directly on the working efficiency and the rational use of the mineral resources, are emphasized.

The dilution at Punta Gorda Ore Deposit, the main raw material supply to Commander Ernesto Che Guevara Nickel Plant, has been reduced in more than six times.

Key Words: Ore, Laterite, Dilution, and Quality.



Introducción

Actualmente la extracción de mineral en mayor escala se realiza empleando excavadoras de arrastre (o Dragalinas), utilizando camiones rígidos y articulados para la transportación del mismo hasta los puntos de descarga de la Instalación de Recepción de Mineral

Los trabajos de extracción son precedidos por otras labores, que pueden llamarse complementarias o auxiliares, que cumplen el objetivo de preparar las condiciones para el minado. Estas labores fundamentalmente abarcan las de construcción de caminos, drenaje, destape del mineral, etc.

De las reservas minables alrededor de un 20 - 22 % no pueden ser extraídas, por encontrarse en zonas de difícil acceso, por regulaciones ambientales así como por la tecnología empleada en la extracción de las mismas las cuales son consideradas como pérdidas y están denominadas en dos grupos:

Pérdidas por limitaciones tecnológicas.

- Existencia de bloques de roca dura dentro de la masa mineral que no pueden ser extraída por la excavadora y debajo de los mismos yace mineral de balance.
- Existencia de lentes mineral intercalados debajo del fondo sobre los cuales yace una capa de roca estériles.
- Existencia de bolsones de mineral en el fondo de gran potencia y poca extensión en los que no es posible el llenado del órgano de extracción de la Dragalina, ni la profundidad de extracción de la Retroexcavadora es suficiente.

Pérdidas por problemas organizativos:

- Cuando se dejan diques en zonas inaccesibles para la Retroexcavadora o la Dragalina.
- Cuando se trabaja en áreas con el mineral debajo del manto friático y no se drena o bombea el agua esta licúa el mineral y lo hace irre recuperable.

ANTECEDENTES

La actividad minera en el proceso productivo de la planta Cmdte Ernesto Che Guevara juega un papel fundamental, por ser la responsable de suministrar la materia prima en calidad y cantidad, para lograr este objetivo se necesita de tecnología adecuada y amplio conocimiento geológico de los yacimientos, que permitan una explotación racional de los mismos y así recuperar las reservas minerales que se están dejando de minar en los frentes mineros, por la falta del equipamiento necesario para recuperar el mismo.

Para garantizar la alimentación del mineral necesario y los incrementos productivos que se ha proyectado la Planta es imprescindible la realización de inversiones en el área de la minería, tanto en lo que se refiere al minado, como en las labores de destape e infraestructura minera, de vital importancia para el futuro.

Actualmente se están empleando en labores de minería la totalidad de los camiones que existen en la mina, con el consiguiente atraso en lo que respecta a las labores de destape también se carece del equipamiento necesario para la construcción y mantenimiento de los caminos mineros.



Desarrollo

El yacimiento Punta Gorda está situado al nordeste del municipio Moa en la provincia de Holguín ubicándose dentro del macizo montañoso de Moa – Baracoa. Como características fundamentales del yacimiento tenemos, la altura de 10 a 180 m sobre el nivel del mar, una gran regularidad topográfica y pendientes promedio de 6 %, y una mineralización caracterizada por su yacencia horizontal, en potencias promedio entre 8 y 10 m y cubiertas de escombros entre 6 y 8 m. Estas características junto al promedio de precipitaciones anuales que se mantiene entre los 1700 y los 1800 mm, provocan que las condiciones hidrogeológicas sean complejas, requiriéndose de combinaciones secuenciales de minería y labores de destape para una explotación más racional del mismo.

Todos estos factores unidos a la falta de reservas destapadas han afectado los resultados de la extracción minera ocasionando pérdidas y empobrecimiento del mineral.

La dilución la podemos definir como un parámetro que mide la eficiencia de las labores mineras pues esta estrechamente relacionada con las pérdidas y el empobrecimiento que se producen durante los trabajos de la minería, y no es que la diferencia que se produce entre los contenidos de las reservas geológicas útiles y de los que se obtienen en la planta hornos reducción.

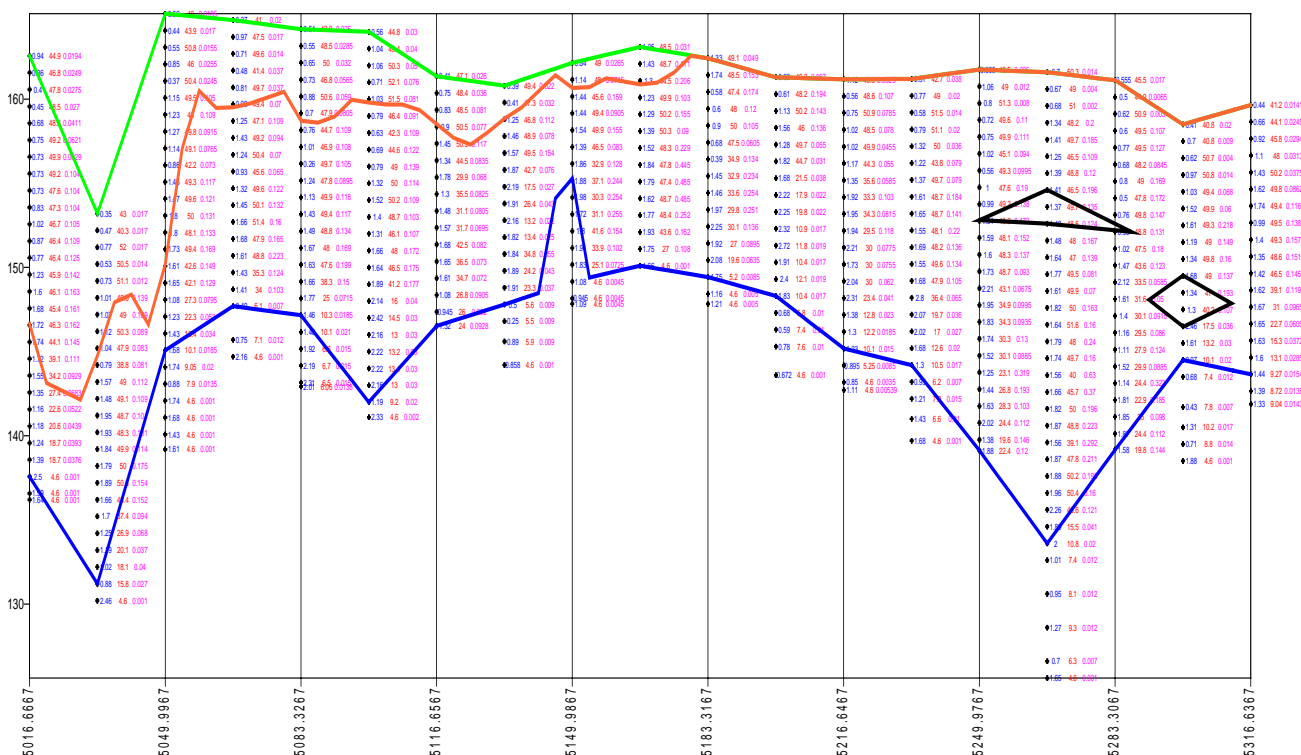
Los factores que influyen en el comportamiento de la dilución se clasifican en geológicos y tecnológicos.

Factores geológicos

- Presencia de cuerpos estériles dentro de las menas.
- Irregularidades en los contactos del cuerpo mineral.
- Influencia de la tectónica que en ocasiones provocan corteza de tipo lineal y alojamiento del mineral en grietas y chimeneas dando lugar a la variabilidad de la potencia del cuerpo mineral.



Perfil del cuerpo Mineral



Factores tecnológicos

- Influencia del equipamiento minero.
- Alcance de la excavadora Dragalina que no permite hacer extracción selectiva de los contaminantes de acuerdo a su cuerpo mineral de acuerdo a su ubicación espacial.
- Falta de equipos para garantizar una planificación que permita la explotación racional del yacimiento

Con la aplicación de una serie de mejoras durante los trabajos de control planificación y ejecución de la minería entre las que podemos señalar

Este resultado Mejoras aplicadas

- Incremento del grado de conocimiento del yacimiento.
- Introducción del método de control topográfico en las labores mineras.
- Introducción de retroexcavadoras en la extracción de mineral .
- Aplicación de la minería por banco.
- Introducción del prebeneficio en los frentes mineros.
- Aplicación del beneficio rústico en la Instalación de Recepción de mineral



Con las cuales se ha logrado el siguiente resultado.

Comportamiento de la dilución

Año	Ni	Fe	Co
1998	- 0.081	+ 0.28	- 0.005
1999	- 0.072	+ 0.344	+ 0.004
2000	- 0.073	+ 0.301	+ 0.001
2001	- 0.052	+ 0.294	+ 0.002
2002	- 0.013	+ 2.21	+ 0.005

Conclusiones

- La aplicación de los estudios realizados en el yacimiento ha permitido un mejor aprovechamiento de los recursos minerales.
- Con la introducción de la Retroexcavadora en la extracción de reservas minerales en los fondos de los frentes de minería se recuperaron 100 040 ton de mineral con Ni 1.668 %, Fe 27.34 %, Co 0.080 %
- La aplicación de diferentes métodos de extracción de mineral ha permitido un incremento en la utilización de los equipos hasta un 20 %.
- Con la introducción de la nueva técnica minera se ha logrado disminuir el costo del mineral extraído y transportado en 0.12 usd/ton.

Recomendaciones

- Aplicar un sistema de extracción combinado Retroexcavadoras - Excavadoras de arrastre dependiente de la potencia de mineral a minar.
- Utilización de camiones articulados que permiten maniobrar con facilidad en los fondos de minería.
- Garantizar la preparación de las reservas para la minería con no menos de seis meses de adelanto para lograr una planificación más eficiente.
- Desarrollar el Proyecto de Homogeneización y Beneficio del Mineral de Alimentación al Proceso.



SISTEMA INTEGRAL MINERO.

Wilfredo de la Guardia Rodríguez.

Empresa "Moa Nickel S.A. Pedro Sotillo Alba". Edif. B-2 Apto 27. Rpto. Caribe. Moa. Cuba
Telf. (53) 24 62536 Fax (53) 24 62087 E-mail Wdelaguardia@moanickel.com.cu

RESUMEN.

El Sistema Integral Minero (SIM) es un Software aplicado a la minería a cielo abierto y fondos marinos que se desarrolla en la empresa Pedro Sotillo Alba, con el objetivo de establecer los modelos digitales de bloques de los yacimientos, estimar sus reservas, planificar la explotación y controlar su desarrollo hasta el agotamiento geológico. Este sistema permitió automatizar una gran cantidad de tareas que se desarrollaban manualmente sin la precisión y velocidad requeridas, además incorpora nuevas operaciones hasta el momento desconocidas.

Este software fue desarrollado en el lenguaje de programación Visual Foxpro 5.0, orientado a objetos. Por la forma en que fue diseñado y programado no exige de los usuarios amplios conocimientos de la computación, es muy fácil de operar. Las salidas gráficas del sistema están en formato SRF o DXF. El Sistema Integral Minero emite toda la información gráfica automática. Este sistema ha resuelto la automatización del control de las actividades mineras, puso fin a la forma anticuada manual de controlar la explotación de los yacimientos mineros e incrementó la eficiencia de su explotación. Todas las consultas sobre la calidad de alguna zona en específico, informes, planos, perfiles geológicos, etc. se realizan dinámicamente y sencilla, a través de diferentes menús, que van guiando al usuario del sistema. Además las reservas pueden ser calculadas dinámicamente con cualquier ley de corte.

La forma de diseño y programación del SIM y su instalación en un servidor permite su utilización por uno o varios usuarios de forma simultánea conectados a una red.

ABSTRACT.

The Mining Integral System (MIS) it is a Software applied to the Open Pit Mine and to the bottom of the sea, which was developed in the enterprise "Moa Nickel S.A.", with the objective of establishing the digital block Model of the deposits, to estimate their reserves, to plan the exploitation and to control their development until the geologic depletion. This system allowed to automate a great quantity of tasks, which were developed manually before without the precision and required speed, it also incorporates new operations.

This software was developed in the objects oriented programming language Visual Foxpro 5.0. For the form in that it was designed and programmed it doesn't demand from the users wide knowledge of computing, it is very easy of operating. The graphics exits of the system are in format SRF or DXF. The Mining Integral System emits all the automatic graphic information.

This system has solved the automation of the control of the mining activities, it put an end to the form antiquated of manual control of the exploitation of the mines and it increased their efficiency. All the consultations about the quality of some area in specific, reports, planes, geologic profiles, etc is carried out dynamically and simple, through different menus, which guide the user of the system. The reserves can also be calculated dynamically with any cut off.

The design form and programming of the MIS and their installation in a server computer allow their use for one or several connected users in a simultaneous way to a net.



Introducción.

El Sistema Integral Minero (SIM) es un software programado modular, fácil de adaptar a cualquier tipo de mina a cielo abierto. Este sistema se diseñó desde un punto de vista práctico, aglutinando todas las actividades que realizaban los diferentes técnicos de la actividad minera, para así lograr la eficiencia necesaria en la producción.

A diferencia de los grandes paquetes de programas mineros que existen en el mundo, que generalmente son difíciles de asimilar, lo que se logra en un tiempo prolongado, el SIM es de muy fácil operación y aprendizaje.

Para que se tenga una idea de su alcance pondremos como ejemplo:

1. Calcular los volúmenes y calidad del material de escombros removido según la información topográfica, dejando actualizados los datos, a la vez podemos determinar la cantidad de material útil que se pierde durante esa actividad y con qué calidad.
2. Calcular volúmenes y tonelaje del mineral minado, así como la calidad de escombros y serpentina incorporados al proceso de la minería.

Estas dos bondades, como el resto de ellas, se ejecutan con tan solo tomar los datos del equipo de las mediciones topográficas. Luego se procede al cálculo y se genera un reporte con los detalles de la operación realizada.

El SIM se está aplicando en la empresa mixta "Moa Nickel S.A. Pedro Sotillo Alba" desde 1998, con actualizaciones constantes que exige la dinámica de la actividad minera, y constituye el software oficial para el diseño de los modelos de bloques, consultas, cálculos de recursos y reservas, así como para el control de la explotación de los yacimientos.

Materiales y Métodos.

Para la creación del SIM no fue necesario incurrir en gastos de materiales, solo en tiempo de diseño y programación, así como en horas-máquina.

Resultados y discusión.

El Sistema Integral Minero ha logrado exitosos resultados en nuestra empresa mixta. Algunos de sus módulos se han aplicado en otras instituciones, por ejemplo el módulo de generar el modelo de bloques se ha aplicado en la empresa "Ernesto Che Guevara"; el cálculo de reservas se aplica en la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM).

Este sistema permite, además, ser personalizado y crear un menú con los datos de todos los yacimientos existentes en la concesión minera de la entidad. Cuenta con herramientas de trabajo para las diferentes especialidades técnicas de la actividad minera: geología, minería, topografía, planificación; así como opciones misceláneas para operaciones secundarias, tales como cálculo de áreas, conversión de coordenadas, calcular distancia entre puntos, intersección de polígonos, ajuste de red, construcción de caminos, construcción de escombreras.

A través del SIM se puede controlar la explotación de las reservas mineras, emitiendo todos los informes y planos necesarios para el trabajo del personal técnico, permitiendo que en la



empresa se realice una minería al nivel de las minas más desarrolladas del mundo, en cuanto al control se refiere.

Entre sus bondades principales tenemos:

- Obtener y manipular la base de datos geológica de los yacimientos.
Se crea una Base de datos digital con los atributos necesarios para el control de la información.
- Crear los modelos de bloques: Se generan de forma automática y personalizada. Permite actualizar el modelo con nuevas perforaciones; generar los bancos de explotación. Los modelos de bloques no tienen límites en su tamaño, solo lo limita la capacidad del soporte magnético y la lógica para su manipulación posterior.
Para la estimación de los bloques se debe previamente hacer un estudio estadístico de la zona a modelar y determinar los parámetros óptimos, tales como radios de búsqueda, ángulo de anisotropía, efecto pepita, etc, así como determinar el método de interpolación. En el caso de los elementos químicos, para su interpolación y, dependiendo de la información primaria y los variogramas resultantes, se aplican generalmente el método de interpolación del inverso de la distancia a una potencia y el krigging puntual o de bloque. Para la modelación del terreno utilizamos interpolación lineal triangular.
- Control de depósitos: Permite llevar un control del avance de los depósitos de mineral. Basta con las mediciones del terreno de las zonas que sufrieron cambios para emitir un cálculo del volumen remanente, así como un gráfico de su topografía resultante. En Moa Nickel se lleva el control de 14 depósitos de mineral, incluyendo la plataforma de azufre (Fig. 1).
- Para los yacimientos de mineral existe una serie de opciones, con las cuales se controla todo el proceso sobre los mismos, desde la creación del modelo de bloques hasta su agotamiento final con la correspondiente documentación.

Una vez creado el modelo de bloques se puede llevar el control de su explotación por dos vías:

1. Por el método tradicional, o sea utilizando drag lines.
 2. Por bancos de minería, descomponiendo el modelo en bancos, cuyo espesor se determina por criterios de expertos, teniendo en cuenta la técnica a utilizar en la explotación del yacimiento. Vale señalar que utilizando este sistema se aplica por primera vez en nuestro país la metodología de los bancos de minería en la laterita, actualmente en Moa Nickel los dos principales yacimientos se explotan por esta vía.
- ◆ Recepcionar y validar las mediciones del terreno: La información de las mediciones del terreno se puede captar directamente de un teodolito electrónico, a través de su tarjeta magnética o si contamos con un teodolito óptico tradicional, por ejemplo un DHALTA, introducimos los parámetros que nos proporciona el mismo y se calculan de forma automática las coordenadas en los 3 ejes X,Y y Z. Esta información se refleja en una gráfica para determinar su distribución espacial y posibles errores, de esta forma podemos detectar errores en la medición. Esta validación es profiláctica antes de calcular las mediciones en el modelo de bloques.
 - ◆ Cálculo del volumen y calidad de la zona removida: Casi de forma instantánea, en dependencia de la magnitud de las mediciones, obtenemos un reporte que muestra el volumen de mineral removido, tipo de material y calidad. En el caso de Moa Nickel, se desglosa en Escombro, Limonita de Balance y Serpentina, así como los contenidos de



cada una de ellas de Ni, Fe y Co. Toda esta información se extrae del modelo de bloques, que queda actualizado luego de cada transacción. Los bloques removidos se almacenan en una base de datos, que se emplea en futuras estadísticas.

- ◆ Estadísticas de un área seleccionada: Con solo marcar en el plano la zona deseada con un polígono obtenemos una estadística del mismo. Podemos visualizar también el plano resultante. En esta opción se aplicó un nuevo método para determinar la pertenencia de un punto a un plano limitado por un polígono, dadas sus coordenadas rectangulares. Esto se puede aplicar al banco seleccionado del modelo o a toda la masa mineral hasta el fondo del yacimiento. Esta bondad es muy útil para la planificación minera, cálculo de reservas, etc.
- ◆ Planificar un volumen de mineral a extraer: Se pide la cantidad de mineral a extraer en el área seleccionada con un polígono, entonces el sistema emite un informe por bancos cuidando de no excederse del volumen pedido.
- ◆ Realizar un perfil geológico dinámico (Fig. 2): Con esta opción se crea dinámicamente un perfil geológico, con solo seleccionar dos puntos en el plano. Como se explicaba al principio este sistema se aplica en los fondos marinos, en el caso de Moa Nickel en los yacimientos de Cienos Carbonatados (Coral), que se emplea en la neutralización del ácido en el proceso de la obtención del sulfuro de Ni. Estos perfiles muestran el estado de la sección seleccionada tanto en la minería a cielo abierto como en la explotación de los cienos.
- ◆ Determinar las reservas técnicas de un área: Utilizamos el polígono, como en las opciones anteriores. El sistema emite un informe y un plano de las reservas disponibles de la zona, como un caso particular en la minería por bancos, se seleccionan solo las reservas que están destapadas en los diferentes bancos.
- ◆ Control de pérdidas: El SIM cuenta con un subsistema para las reservas a declarar como pérdidas, que puede ser por un polígono o bloques aislados. Se puede solicitar un informe por causas de las pérdidas en un período de tiempo cualquiera.
- ◆ Control del agotamiento geológico: Finalmente, en las zonas minadas, y teniendo en cuenta las pérdidas declaradas procedemos al agotamiento geológico, emitiendo los informes correspondientes.
- ◆ Cálculo de reservas: El cálculo de reservas se puede realizar dinámicamente en el modelo de bloques, con las opciones anteriormente mencionadas o con un subsistema que nos permite seleccionar varios criterios para el cálculo, y puede ser aplicado a la información primaria, utilizando el método del área de influencia. Esto es necesario cuando estamos validando y realizando estudios sobre la zona a explotar. Aquí se adicionó a los cálculos de reservas el factor económico, determinando la rentabilidad de la minería de cada muestra, según los costos y ganancias de la misma.
- ◆ Cambio de ley de corte: Se aplica al modelo de bloques, cuando por razones económicas, luego de un análisis se varía la ley de corte, trayendo consigo variación en las reservas.
- ◆ Avance de la minería: Se lleva un plano actualizado del desarrollo de la explotación del yacimiento.
- ◆ Subsistema de topografía del terreno: Nos permite mantener actualizada la topografía del terreno. Los cambios en la topografía son producto a la acción de la minería, creación de escombreras, piscinas de sedimentación, caminos, etc. Nos permite seleccionar un área determinada de un plano, o del modelo, para realizar un análisis de la topografía, y hacer correcciones, de ser necesario.



- ♦ Escombreras: Nos permite realizar un sencillo diseño de una escombrera. No se aconseja para escombreras profesionales, solo nos dará el volumen de material a depositar y su forma geométrica.
- ♦ Construcción de caminos: Nos permite un sencillo diseño de un camino. Por la traza del camino obtenemos un perfil, diseñamos los segmentos en el plano vertical y vemos las pendientes del camino, así como el volumen de material a excavar y a rellenar. No se aconseja para el diseño de caminos profesionales, solo es una ayuda para caminos mineros.
- ♦ Mapeo Geológico: Este subsistema nos permite saber el destino de cada bloque, o sea hacia donde fue dirigido, por lo que podemos determinar con precisión el material que hay en cada depósito de mineral y el que se está enviando a la planta. Esta opción requiere de una alta disciplina por parte del geólogo o persona encargada de este control.
- ♦ Cienos Carbonatados: Este yacimiento tiene sus particularidades, por su forma de explotación y posición debajo del fondo marino. También fue adaptado al SIM, creando un modelo de bloques de 8.33 x 8.33 x 0.25 m. Los perfiles geológicos tienen sus particularidades.

CONCLUSIONES.

Como ya hemos reflejado, el SIM se está explotando desde 1998, con resultados exitosos en la minería de la empresa mixta Moa Nickel S.A. Pedro Sotro Alba, y con un valioso efecto económico. La dilución del Ni ha disminuido considerablemente, de un valor inicial de 0.05 a 0.01, así como el costo de explotación de las minas. Todos los modelos de bloques de los yacimientos de la empresa y el control de la explotación de los mismos hasta su agotamiento final se realiza utilizando el SIM.

Por la facilidad en su aprendizaje, adaptación a cualquier mina a cielo abierto recomendamos la aplicación del mismo a otras entidades mineras.

BIBLIOGRAFÍA.

Microsoft Corporation, 1998. Microsoft Visual Foxpro. Manual de consultas. Sistema de desarrollo de bases de datos relacionadas para Windows, p 100-215

Tulcanaza, Edmundo, 1992. Técnicas Geoestadísticas y criterios técnico-económicos para la estimación y evaluación de yacimientos mineros. P 160-207

Harris, D. Et al, 1971. A Mineral Resource Appraisal of the Canadian Northwest using Subjective Probabilities and Geologic Opinion, CIM Special Volume No 12. Decision Making un the Mineral Industry.

Tablas y Fórmulas Matemáticas, Ed. Pueblo y Educación, 1980

Lehmann, Charles H, 1972. Geometría Analítica.

Surfer 7. Manual de consulta.

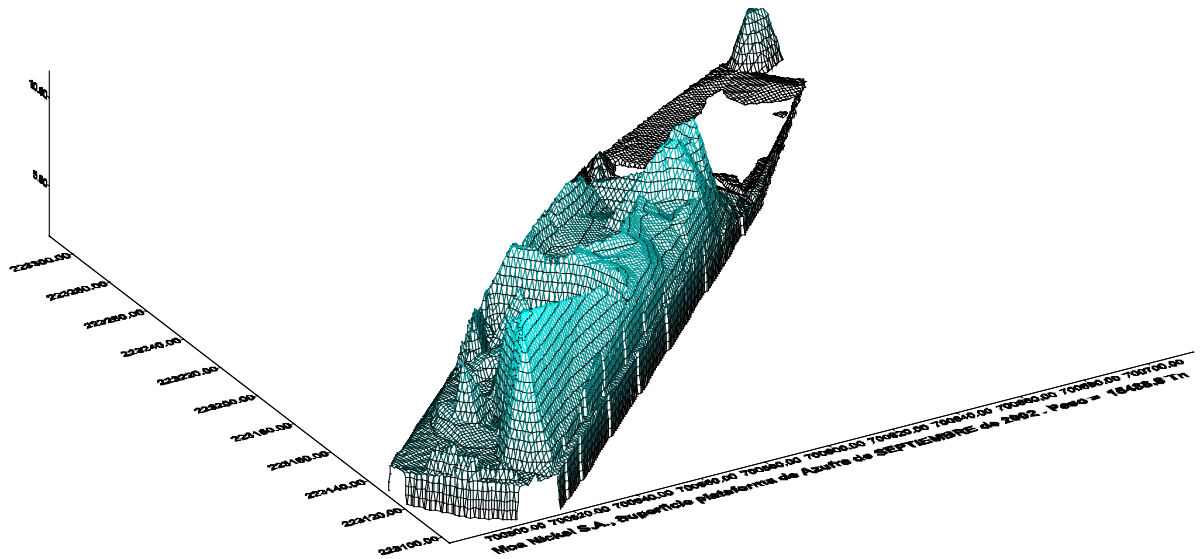
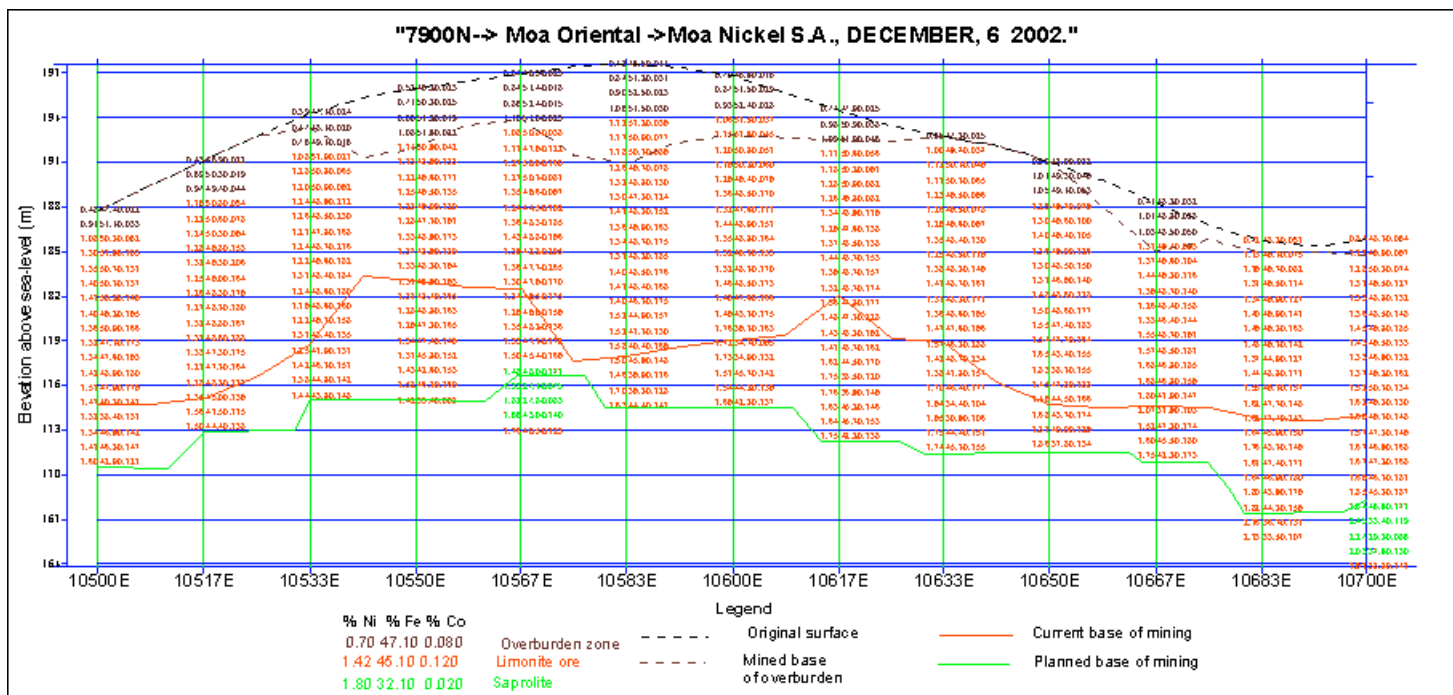


Fig. 1. Plataforma de Azufre. Volumen y peso.



Section 2

Fig. 2 Perfil Geológico Típico



SUSTENTABILIDAD DE LA MINERÍA DEL NÍQUEL EN CUBA

Marta Campo Cordero, Mabel Pérez Campos

Oficina Nacional de Recursos Minerales, Avenida Salvador Allende No 666, e/ Oquendo y Soledad,
Centro Habana, Cuba, e-mail -martha@onrm.minbas.cu.

RESUMEN

En el trabajo se recoge la política del Estado Cubano relacionada con la Protección del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, las acciones ambientales para un desarrollo sostenible y su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social, así como el marco político, legal, institucional y capacidad de gestión ambiental para la ejecución de los planes de desarrollo sostenible, en Cuba. La Ley de Medio Ambiente y La Ley de Minas, establecen los conceptos básicos e instrumentos para materializar la política ambiental y minera, garantizando el menor impacto al Medio Ambiente en general. Importancia del Sector Minero Metalúrgico del Níquel para el desarrollo del País y la Región. De Moa, donde existen Recursos y Reservas Minerales para mantener la Minería a corto, mediano y largo plazo. Características sociales y económicas de la Comunidad Minera de Moa localizada en áreas de impacto de las Empresas en operaciones analizando los principales temas relacionados con esta industria. Se demuestra la viabilidad de las operaciones considerando los beneficios y daños como un todo, donde las mejoras logradas, sociales, culturales y económicas son resultado de esta actividad.

ABSTRACT

Sustainable mining operations in the Cuban nickel industry

This paper discusses the policy of the Cuban government related to the environmental protection, the actions needed to achieve a sustainable development and its relationship with social and economic growth, within the Cuban legal, political and institutional framework and the country environment management capacity to accomplish this target.

Environment Law and Mining Law establish the concepts and instruments needed to realize a Mining activity compatible with a sustainable development, ensuring the least possible environmental impact.

Mining Metallurgical Nickel Sector is a very important key for the development of the Country and Region of Moa, where exists enough Ore Resources/Reserves to sustain a Short, Medium, and Long Term Mining Plan.

Social and economic features of the Mining community of Moa located in impact areas of running enterprises are showing, analysing the principal issues related to the Mining industry.

Viability of Mining operations is demonstrated, considering the benefits and damages a whole, where aspects of social, cultural and economics improvements are result of this activity.



Introducción:

El concepto de Minería Sustentable involucra aspectos económicos, ambientales, tecnológicos, legales, políticos y sociales de manera indisoluble. La interdependencia entre ellos, es por todos aceptada, los problemas se presentan en la implementación de los mismos en un proceso continuo y las interpretaciones en un mundo globalizado donde cada día aumenta la desigualdad social y económica. El mundo desarrollado no es precisamente quien más explota yacimientos, la minería en general está en los países del tercer mundo, cuyas causas son bien conocidas.

La Sustentabilidad económica y social por el hombre sin la utilización de los recursos naturales y entre ellos los minerales, es una utopía, por lo que la minería es una necesidad pero el problema radica en como hacerla sustentable, y es aquí donde empieza a jugar un papel fundamental el estado con las políticas específicas para la distribución de los ingresos de este sector hacia la alimentación, salud pública y educación.

La minería del níquel en Cuba se inicia en el año 1943 en la región Pinares de Mayarí con la puesta en marcha de la planta Nicaro, actual "Empresa Comandante René Ramos Latour". Además se encuentran en la Región de Moa dos plantas en operaciones que son la "Empresa Comandante Pedro Soto Alba"-Moa Nickel S.A. y la "Empresa Comandante Ernesto Che Guevara".

El mineral que contiene las reservas de metal Fe, Ni y Co son las lateritas ferroniquelíferas y las serpentinas o saprolitas niquelíferas que son los materiales residuales de la corteza de intemperismo ultramáfica.

Hacer que nuestra minería sea sostenible constituye objeto y estrategia del gobierno, refrendados en la constitución de la República y leyes como La del Medio Ambiente y la Ley de Minas.

Materiales y Métodos

Legislaciones vigentes sobre Minería y Medio Ambiente, control del otorgamiento de las Licencias Ambientales y medidas de monitoreos; verificación en el terreno de la existencia de los Proyectos y Planes Anuales de Minería; control de las medidas relacionadas con el aprovechamiento racional de las Reservas Geológicas; seguimiento de las labores de Rehabilitación y Reforestación; estadísticas de áreas devastadas por la minería y de áreas rehabilitadas y reforestadas; control de los residuales líquidos; desarrollo de la comunidad minera Moa.

Resultados y discusión:

La minería del níquel es una de las actividades económicas más importantes del país, se proyecta mantenerla a largo plazo, pues los recursos y reservas geológicas existentes así lo demuestran.

La minería del Níquel constituye nuestra Gran Minería. En sus inicios la realización de la Actividad Minera no contenía dentro de sus programas tareas que tuvieran en cuenta la conjugación de los intereses de la minería con la Protección al Medio Ambiente por lo que



heredamos un número elevado de áreas devastadas y daños al medio donadas por la etapa de la República Neocolonial.

Es a partir de la década del 70 dónde se observa una incipiente estrategia para conjugar por un lado la necesidad de lograr el desarrollo de la sociedad a expensas de la explotación de los yacimientos de la región y llevar al unísono una política que contemple el resarcimiento de los daños ocasionados al medio y el aumento del bienestar de la población en todas las esferas.

En estos momentos la política de Sostenibilidad del Medio Ambiente está bien definida en Cuba. La protección del Medio Ambiente tiene rango constitucional.

La constitución de la República de 1976 ,en su Artículo 27 postula que:

“ El Estado protege el Medio Ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer mas racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras.”

La Ley No.81 del Medio Ambiente, aprobada en 1997 ,establece los principios, objetivos y conceptos básicos de la política ambiental cubana, el marco institucional y los instrumentos para su materialización, las atribuciones, funciones y deberes de los órganos y organismos estatales y en general, los derechos y obligaciones de las personas naturales y jurídicas.

La ley 76,Ley de Minas ,aprobada en el año 1995 regula la política de la actividad minera ,la cuál se ejecuta a través de un régimen concesionario , aprobado por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros.

Las concesiones se otorgan acotadas en tiempo, lo que permite un uso racional del recurso y una planificación adecuada.

Previo al otorgamiento se realiza la compatibilización con el resto de los organismos del estado, conciliando los intereses territoriales y estatales, y asegurando la ejecución de las actividades futuras y previendo posibles litigios futuros.

Los concesionarios tienen derechos y obligaciones destacándose entre las obligaciones:

“Elaborar estudios de impacto ambiental y planes para prevenir, mitigar, controlar, rehabilitar y compensar el impacto derivado de sus actividades”

Estos estudios de impacto ambiental se inician desde la etapa de investigación de los yacimientos en áreas sensibles a través de un plan de monitoreo ambiental el cuál es controlado por el Centro de Inspección y Control Ambiental respondiendo los concesionarios por la ejecución de las medidas impuestas.

La explotación de los yacimientos lateríticos ubicados en el Norte Oriental de Cuba, es una necesidad para lograr los niveles económicos y de desarrollo que exige la sociedad cubana en estos momentos.

Derivado de la anterior necesidad las consecuencias negativas para el medio ambiente han sido palpables, manifestándose en cada una de las etapas o fases de la minería de la siguiente forma:

Impactos sobre la morfología y el relieve:



- Perturbación del carácter global del paisaje
- Degradación del suelo.
- Remoción de la capa vegetal / deforestación
- Cambios en el modelo de drenaje
- Erosión acelerada
- Pérdidas de la pobre capa de suelo afectándose la productividad agrícola

Afectaciones a la flora:

- Migración y extinción de especies fauna endémicas de la región.

Afectaciones a las aguas:

- Contaminación de las redes fluviales superficiales principalmente
- Aporte de sedimentos a los ríos y arroyos
-

Contaminación de la atmósfera

- Incremento de la contaminación del aire por las concentraciones de polvo

Es por todo lo relacionado anteriormente que para lograr un desarrollo sostenible en el sentido amplio de la sustentabilidad se exige y controla que para ser aperturado y puesto en explotación un yacimiento tiene que poseer:

- Recursos y reservas bien definidos y aprobados por la Autoridad Minera
- Estudio de Impacto Ambiental
- Licencias Ambientales
- Proyectos de explotación mineras a medianos y cortos plazos.
- Planes Anuales de Minería
- Planes de rehabilitación continua de las áreas mineras devastadas.

La comunidad está consciente que la actividad minera del níquel es una actividad de Sustentabilidad social y económica pues de ella se obtienen los ingresos para ramas tan importantes como la salud, la educación del país además el empleo no solo en la propia industria sino en las empresas que brindan servicios a las producciones del níquel.

El crecimiento económico del sector minero –metalúrgico es directamente proporcional al desarrollo sustentable:

- El uso de tecnologías ambientales a resolver los problemas ambientales en las actuales empresas en operaciones y de producción.
- Educación básica para todos,
- La capacitación de los trabajadores, técnicos y cuadros es otro aspecto que se presta gran atención. La creación de un Instituto Superior Minero-Metalúrgico (único en América Latina), que ha posibilitado que desde 1976 a la fecha hayan egresado de este alto centro docente más de 5 500 jóvenes en carreras afines a la industria minera principalmente. Ello ha contribuido a lograr mayores oportunidades de empleo y elevar el nivel profesional que se requiere para enfrentar las tareas que demanda el desarrollo social y técnico en la región.



- El trabajo desde el nivel de la comunidad con los niños en edad preescolar es un método que conlleva a que los mismos conozcan los efectos negativos de la minería y las labores de prevención para mitigar los mismos.
- El desarrollo acelerado de la industria del níquel ha permitido la creación de numerosos puestos de trabajo distribuidos en las diferentes dependencias de la Unión Cuba-Níquel. a tal punto que más del 60 % de los obreros actualmente están ligados a este sector.
- Construcción del Aeropuerto de Moa, Círculos Sociales, Jardines de la Infancia para facilitar que las mujeres del níquel y de otras industrias se incorporen al trabajo, parques de diversiones, club de computación, así como apoyo al programa agroalimentario del municipio.
- Implementación de un sistema educacional integral que comprende desde las Vías no formales hasta la Universidad.
- Construcción de 330 edificios multifamiliares con un total de 8 561 apartamentos que ha cubierto en gran medida la demanda de los trabajadores del níquel.
- Ampliación de las posibilidades culturales con la inclusión de galerías de arte y casas de culturas.
- Existe un sistema de salud conformado por 129 Consultorios Médicos de la Familia para atender al 100% de la población, 9 Consultorios Médicos de Urgencias y dos Policlínicas de Urgencia y la instalación más representativa de este sistema de salud es el Hospital General Docente, con una capacidad de ingreso de 400 camas y para su atención cuenta con más de 20 especialidades, además cuenta con un Hospital pediátrico con capacidad de ingreso de 85 camas.
- Contamos con un índice de un médico por cada 213 habitantes y una enfermera por cada 139 habitantes.

Conclusiones:

- La Constitución de la República de Cuba refrenda la Sostenibilidad del Medio Ambiente.
- La Ley de Minas y su Reglamento estipula y regula la política de la actividad Minera ,la cuál se ejecuta a través de un régimen concesionario , aprobado por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros.
- La Ley No.81 del Medio Ambiente, establece los principios, objetivos y conceptos básicos de la política ambiental cubana, el marco institucional y los instrumentos para su materialización, las atribuciones, funciones y deberes de los órganos y organismos estatales y en general, los derechos y obligaciones de las personas naturales y jurídicas.
- La práctica actual demuestra de forma fehaciente que la minería del níquel está dentro de la Sostenibilidad de la minería.
- La comunidad está consciente que la actividad minera del níquel es una actividad de sustentabilidad social y económica pues de ella se obtienen los ingresos para ramas tan



importantes como la salud, la educación del país además el empleo no solo en la propia industria sino en las empresas que brindan servicios a las producciones del níquel.

- **El crecimiento económico del sector minero –metalúrgico es directamente proporcional al desarrollo sustentable.**

Bibliografía:

- Cordes, J(1997).Mining and the Environment :Driving forces for change. Industry and Environment UNEP.v.20,n,4.p.25-28.
- Gaceta Oficial de la Republica de Cuba, Constitución de La República de Cuba. La Habana 1977
- Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ley de Minas, La Habana, 1995.
- Gaceta Oficial de la República de Cuba. Ley de Medio Ambiente. La Habana 1997.
- Notas de clases dictadas en el II curso internacional de aspectos geológicos de Protección Ambiental. Campinas, Sp-Brasil .5 al 20 de junio de 2000.
- Pérez M. Mónica y Barreto M.L., 1999 ."Desactivación de minas, política de desarrollo sostenible y soluciones ambientales:-Brasil y Canadá Revista Tecnológica No 1,volumen 3,. La Habana.



VALIDACIÓN DE LOS METODOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃ y MnO EN LATERITAS Y SERPENTINITAS POR TÉCNICAS CLÁSICAS, EAA Y ICP

Dra. Ana M. Cónsul Odio, Lic. José Gallardo Mojena, Lic. Humberto Argota Coello

Laboratorio Empresa Geominera Oriente, Avenida de los Libertadores No. 426, entre 7 y 8, Reparto Fomento, ZP 90 900, Santiago de Cuba, Cuba. Teléfono: 26 62 6762, 26 65 2254, Fax: 26 68 6130, e-mail: ulab@geom.minbas.stg.cu,

RESUMEN

Los estudios geológicos requieren de análisis confiables para poder dar resultados objetivos de la riqueza mineral de un yacimiento. La determinación de los elementos Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃ y MnO analizados por métodos clásicos, tal como volumetría en el caso del hierro, e instrumentales: espectrometría de absorción atómica para el níquel y el cobalto y plasma inductivamente acoplado (ICP), para todos los elementos relacionados (excepto el hierro) son los ensayos empleados en el Laboratorio de la Empresa Geominera Oriente para el análisis de lateritas y serpentinitas y responden a las exigencias internacionales vigentes.

Para que un resultado analítico sea confiable debe ser obtenido por un ensayo respaldado por un expediente de validación, el que comprende aspectos tales como: determinación de la precisión, exactitud, límite de detección, límite de la determinación, robustez, comparación con otros métodos analíticos, resultados de pruebas de recobrado, pruebas interlaboratorios así como, en el caso del empleo de métodos instrumentales otros parámetros característicos de la técnica empleada, todo referido a los diferentes intervalos de contenido de los elementos.

Los resultados obtenidos tienen el respaldo documental correspondiente y todo esto compone el expediente de validación de estos métodos. También se profundiza en los parámetros seleccionados para realizar las pruebas demostrativas de la robustez, término relativamente novedoso en los medios analíticos, y las vías indirectas utilizadas para la inclusión de resultados que avalen pruebas interlaboratorios en base a los controles externos realizados por los clientes en varios laboratorios de reconocido prestigio internacional.

ABSTRACT

The geologic studies require of reliable analysis to be able to give objective results of the mineral wealth of a location. The determination of the elements Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃ and MnO analyzed by classic methods, just as volumetric in the case of the iron, and instrumental: Atomic Absorption Spectrometry for the nickel and the cobalt and Inductively Coupled Plasma (ICP), for all the related elements (except the iron) they are the assays used in the Laboratory of the Empresa Geominera for the laterites and serpentines analysis and they respond to the effective international demands.

So that an analytic result is reliable it should be obtained by a assays supported by a validation file, the one that include such aspects as: determination of the precision, accuracy, detection limit, limit of the determination, robustness, comparison with other analytic methods, results of recovered tests, Interlaboratories comparison as well as, in the case of instrumental methods: characteristic parameters of the technique employee's, everything referred to the different intervals of content of the elements.

The obtained results have necessary documental background that composes the file of validation of these methods. It is also deepened in the parameters selected to carry out the demonstrative tests of the robustness, relatively novel term in the analytic means, and the indirect roads used for the inclusion of results of interlaboratories tests based on the external controls carried out by several laboratories of recognized international prestige.



INTRODUCCION

Los resultados obtenidos en el proceso de validación del método analítico desarrollado por el Laboratorio de la Empresa Geominera Oriente: Determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por ICP resume los elementos evaluativos basados en la definición presentada en el Protocolo de Validación que señala que este pertenece al Grado 3 de Validación Externa de la tabla 1 "Diferentes categorías de métodos de ensayo según el grado de validación y el trabajo adicional recomendado" del NC Proyecto 2001 GUIA PARALA VALIDACIÓN DE METODOS QUÍMICOS DE ENSAYO en la que se define que la validación Interna recomendada para estos métodos es realizar la Verificación y se recomienda realizar además una "validación más extensa" término por el que se entiende la acción que el Laboratorio ejecuta para examinar, documentar, total o parcialmente las características del método previamente a su introducción en la rutina de trabajo. En este caso se trabaja para conocer la especificidad representada en el comportamiento de las curvas de barrido para definir la longitud de onda de máxima sensibilidad, comportamiento de las curvas de calibración, precisión según los valores obtenidos de reproducibilidad del método y reproducibilidad interna, límite de detección. límite de la determinación, robustez y veracidad de los resultados.

MATERIALES Y METODOS

Materiales de cristalería de uso general en Química Analítica, calibrados según corresponda. Balanzas analíticas, estufas y hornos mufla. Equipo EAA AVANTA-P (GBC, HG 3000, Australia);

Equipo ICP SPECTROFLAME (SPECTRO, Alemania).

Método de determinación volumétrica de hierro con dicromato de potasio.

Método de determinación de níquel y cobalto por EAA.

Método de determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por ICP

Los tres métodos analíticos empleados están acreditados por la NC ISO/IEC 17025:2000.

RESULTADOS Y DISCUSION

La determinación de Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Cr₂O₃ y MnO por ICP en lateritas y serpentina se introduce a partir de Junio de 1997. En el período comprendido entre el 20/02/97 y el 31/05/97 se realiza el ajuste de las condiciones instrumentales y la evaluación del método en base a la comparación estadística de los resultados obtenidos al analizar 200 muestras de lateritas y 30 de serpentina que previamente se habían analizado a solicitud de la firma Malecón Metals por EAA y como un control interno del laboratorio se analizaron también por métodos tradicionales. La firma realizó los controles externos en dos en laboratorios extranjeros con resultados exitosos, Lakefield y Rocklab, de Canadá y Africa del Sur respectivamente.

Como reproducibilidad del método se poseen evidencias de resultados comparativos analizados por otros laboratorios, en el caso del Ni y el Co también por ICP y por Fluorescencia de Rayos X para los otros elementos, las que han sido obtenidas a través de nuestros clientes tales como:

- resultados de los controles externos de la firma Pinares S.A. (Westminer Holdings Ltd), (1998) realizados por el laboratorio Lakefield en Canadá



- resultados de los controles externos para Fe, Ni, Co y Mg realizados a la Moa Nickel S.A..(2001) realizados en el laboratorio de control de la producción de esta Empresa (los resultados de Ni, Co y MgO realizados en la Moa Nickel se realizaron por EAA).

Con los datos comparativos entre Lakefield y este Laboratorio se calcula la precisión del método de determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por ICP, la reproducibilidad interna de las parejas de resultados obtenidas en el trabajo cotidiano según los resultados reportados para las muestras básicas y de control generadas por la aplicación control interno vigente y para los rangos de concentración que permiten las características de este yacimiento, netamente laterítico. Luego, los resultados que se presentan en la tabla 1, fueron obtenidos en este laboratorio, por el mismo método de referencia pero en diferentes momentos por diferentes analistas así como en porciones diferentes de una misma muestra.

Tabla I Análisis de la reproducibilidad del método de determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por ICP por comparación entre la data Santiago vs. Lakefield de los controles externos geológicos de Pinares S.A.

Elemento	Intervalo de Concentración		Cantidad de de parejas de resultados	media UEB	media Lab	media Lakefield	s	t Student*
				EGMO				
Ni	>0.5	<1.00	71	0.78	0.79	0.09833	0.85	
	>1.00		92	1.32	1.30	0.1087	1.65	
Co	<0.100		53	0.079	0.082	0.0185	1.18	
	>0.100		75	0.175	0.171	0.02	1.60	
Al2O3	<10.00		111	6.64	6.74	0.5815	1.43	
	>10.00		70	15.49	15.38	0.9217	1.00	
SiO2	<20.00		188	3.96	4.00	0.4821	0.91	
MgO	<5.00		192	0.86	0.86	0.2131	0.99	
MnO	>0.1	<5.00	197	0.89	0.90	0.1424	0.89	
Cr2O3	>1.00	<5.00	162	2.87	2.84	0.1644	0.63	

*La t tabulada para 95 % y mas de 30 grados de libertad es de 1.63 luego la diferencia entre los dos laboratorios no es significativa.

Para realizar además la evaluación estadística en cuanto a la repetibilidad o reproducibilidad interna se toma en cuenta el cumplimiento de lo establecido en las tablas de diferencia permisible entre las determinaciones primarias y de repetición (básicas y control) expresadas en % relativo correspondientes a diferentes períodos y proyectos de investigación geológica.

En trabajos realizados para firmas extranjeras se ha obtenido información de ensayos colaborativos y ensayo interlaboratorios (round Robins) en los que la calidad del método de referencia fue comprobada. También los resultados de control externo, de todos los proyectos de investigación geológica de los yacimientos lateríticos del territorio realizados a partir de Junio



de 1997 evidencian la confiabilidad de los resultados analíticos realizados a decenas de miles de muestras básicas.

Con el fin de comprobar la veracidad del método el laboratorio se emplean muestras patrones de referencia, en este caso de MPR certificadas, una de laterita L-1 y otra de serpentina SNi, cuyos contenidos de hierro son extremos en cuanto a la composición de las muestras naturales en los cortes geológicos. Estas muestras, como práctica del sistema de control interno de la calidad establecido, son introducidas periódicamente en los grupos de muestras entregados a los analistas, luego han sido analizadas por varios analistas, en diferentes tiempos, con diferentes lotes de reactivos, etc. Por esta práctica el método se encuentra monitoreado en forma sistemática y el análisis estadístico periódico de ellos demuestra la estabilidad de sus resultados.

Los resultados obtenidos se encuentran registrados para la MPR L-1 en la tabla II.

Tabla II Resultado de la prueba t realizados a los resultados obtenidos del análisis de la MPR L-1

Determinación	MPR L-1				MPR SNi			
	N	MEDIA	s	t calculada*	N	MEDIA	s	t calculada*
Al ₂ O ₃	140	3.74	0.1487	0.6	201	1.004	0.0652	9.9 exp .45-
MgO	233	0.705	0.07126	1.23	182	32.03	0.4319	0.31
SiO ₂	203	2.81	0.1626	0.01	218	39.68	0.4585	1.1 exp -11
Cr ₂ O ₃	192	2.825	0.1109	0.31	213	0.541	0.0551	3.5 exp -108
Ni	104	1.166	0.0347	0.01	258	1.960	0.0391	0.03
Co	209	0.074	0.0041	0.53	292	0.017	0.0022	0.07
MnO	48	0.808	0.0247	0.64	36	0.148	0.0265	4.1 exp -46

*Dado que la t calculada resulta siempre menor que la tabulada (1.645) no existe diferencia entre el resultado certificado y el obtenido para 95% y los grados de libertad reportados.

Los resultados obtenidos para el Límite de Detección y el Límite de Determinación para estos elementos cumplen las necesidades de los análisis de los minerales lateríticos y la serpentina, ver tabla III.

Tabla III Resultados de Límite de Detección y Límite de Determinación para los elementos determinados por ICP.

	NI	CO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	MnO
s	0.0009	0.00014	0.00878	0.0301	0.0104	0.0041	0.0004
LD	0.0027	0.00042	0.027	0.09	0.03	0.0123	0.0012
Ldet	0.009	0.0014	0.0878	0.3	0.1	0.041	0.004

La robustez, término relativamente novedoso en los medios analíticos se define como la influencia en la sensibilidad de un método analítico ante desviaciones menores en las condiciones experimentales del método. Se dice que un método es robusto cuando sus resultados no son apreciablemente influidos por tales condiciones. Motivados por la necesidad



de validar el método de análisis de multielementos por plasma acoplado inductivamente (ICP) para los minerales de Laterita y Serpentina y sabiendo que dentro de los parámetros actualmente requeridos para este propósito se encuentra el análisis de la robustez, se realizan los ensayos requeridos por un diseño de experimento para 8 variables a dos niveles.

Los factores seleccionados son aquellos que según las características del método y la experiencia acumulada más pueden influir en los resultados finales del análisis, ver la tabla IV. Además los resultados y efectos obtenidos se muestran en las tablas V y VI. Los efectos se muestran como las diferencias entre los promedios de las cuatro determinaciones realizadas para los ocho elementos determinados.

Tabla IV Relación de las condiciones alteradas y sus valores asignados

Condición	Nº	Letras	Valores nominales	Valores alternativos
Temperatura	1	A,a	20°C	25°C
Lixiviación	2	B,b	El mismo día	Al otro día
Mezcla Fundente	3	C,c	2g	1,998
Acidez	4	D,d	15 mL	13 mL
Factor	5	E,e	2	1
Mufla	6	F,f	Desde frío	A 400°C
Analista	7	G,g	De experiencia mas	De menor experiencia

Tabla V Resultados obtenidos de los experimentos realizados siguiendo las condiciones de la matriz del diseño.

ELEMENTOS EVALUADOS	EXPERIMENTOS REALIZADOS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Ni	1.25	1.26	1.25	1.26	0.82	0.83	0.83	0.81
Co	0.249	0.251	0.250	0.252	0.016	0.016	0.016	0.016
Al ₂ O ₃	8.80	8.70	8.65	8.77	3.36	3.39	3.45	3.39
SiO ₂	2.21	2.15	2.12	2.21	43.89	43.26	43.86	43.63
MgO	0.33	0.34	0.29	0.29	24.65	24.88	24.58	24.79
Cr ₂ O ₃	2.64	2.66	2.68	2.58	0.75	0.74	0.73	0.74

Tabla VI Efectos al variar las condiciones de trabajo del análisis realizado

Elementos	Temperatura	Lixiviación	Mezcla	Acidez	Factor	Mufla	Analista	s
Ni	0,00	-0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003
Co	0,000	-0,0001	-0,001	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,0009
Al ₂ O ₃	-0.04	0,03	-0,04	-0,11	0,03	0,01	0,05	0,08
SiO ₂	0.02	0,02	-0,03	0,06	0,01	0,01	0,02	0,04
MgO	-0.02	-0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
Cr ₂ O ₃	-0.02	0,01	0,03	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO	0.01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01



Como se puede apreciar la tabla 8 registra las desviaciones típicas utilizando las diferencias mostradas en los análisis. Este método de estimar la desviación típica utilizando las diferencias es bastante exacto para encontrar posible efectos reales que se produzcan por alteraciones en las condiciones analíticas.

Los valores de las desviaciones típicas para cada elemento analizado son bajos, indicativo de no haber efectos presentes, sin embargo en los elementos Aluminio, Silicio y Cromo los valores de las diferencias son mayores cuando hay cambio de acidez este efecto es comprensible ya que de estos elementos el aluminio tiene carácter anfotérico y proviene de una fusión básica y los otros poseen una marcada dependencia del pH para su total presencia en solución. Consideramos que tal condición debe ser cuidadosamente controlada; por lo demás los resultados fueron adecuados para este propósito.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos cumplen con los requerimientos de los estudios geológicos para sus diferentes estadios por lo que queda validado el método de determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por la vía instrumental Espectrometría de Emisión por Plasma Acoplado Inductivamente ya que:

- Las curvas de calibración muestran el alto valor de los coeficientes de regresión indicativos de la estabilidad del coeficiente angular obtenido.
- Queda demostrado el cumplimiento de los requisitos analíticos que exigen las tablas vigentes de diferencias permisibles..para el control interno de la reproducibilidad de los resultados para todos los intervalos presentes.
- Queda demostrada la precisión, como reproducibilidad interna y reproducibilidad del método basada en la comparación estadística con resultados del control interno y con los ejecutados en otros laboratorios e incluso por otros métodos.
- Queda también demostrada la veracidad de los resultados en base a las MPR L-1 y SNi ya que los resultados de la t calculada son, para todos los elementos en ambas muestras, menores que los tabulados luego no existe por tanto diferencia significativa entre los resultados obtenidos y los certificados.
- La determinación del Límite de Detección y el Límite de Determinación ofrece resultados concordantes con los requeridos según el protocolo de validación como el valor menor de concentración de interés para el análisis de estos elementos.
- Las pruebas de robustez demuestran que los valores de las desviaciones típicas para cada elemento analizado son bajos, indicativo de no haber efectos presentes, sin embargo en los elementos Aluminio, Silicio y Cromo los valores de las diferencias son mayores cuando hay cambio de acidez por lo que tal condición debe ser controlada y conocida por el analista aunque se debe aclarar que las diferencias son totalmente permisibles dentro de las diferencias permisibles establecidas.



REFERENCIAS

- Norma Cubana, 2001. NC Proyecto GUIA PARA LA VALIDACIÓN DE METODOS QUÍMICOS DE ENSAYO. Cuba.
- UEB Laboratorio EGMO, 2001. Protocolo de Validación de los métodos empleados para la determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ en lateritas y serpentinitas por técnicas clásicas, EAA y ICP. Santiago de Cuba, Cuba.
- UEB Laboratorio EGMO, 2001. Informe de Validación de los métodos empleados para la determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ en lateritas y serpentinitas por técnicas clásicas, EAA y ICP. Santiago de Cuba, Cuba.
- UEB Laboratorio EGMO, 2001. ISCL 318:00 Determinación de Ni, Co, SiO₂, MgO, Al₂O₃, MnO y Cr₂O₃ por ICP. Santiago de Cuba, Cuba.



APROVECHAMIENTO DE LA SERPENTINA NIQUELIFERA POR EL PROCESO DE LIXIVIACION ACIDA A PRESION.

Lic. Esteban Alfonso Olmo, Ing. Nayda Hernández Martínez, Dr. José Castellanos Suarez., Ing. Aurora Picayo., Ing. Gustavo Cuervo Samón., Tec. Mirtha Hidalgo, Tec. Roxana Alfonso.

Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM) Varona 12028 km 1.5, Boyeros, e-mail cipimm@ip.minbas.cu.

RESUMEN

El procesamiento de los minerales oxidados de níquel por la tecnología de la lixiviación ácida a presión está condicionado entre otros factores importantes por el contenido de magnesio. Altos contenidos de este elemento en los minerales niquelíferos no permiten económicamente su procesamiento debido al aumento del consumo de ácido sulfúrico.

Se conoce de experiencias anteriores que la estructura mineralógica de la serpentina puede ser transformada mediante el tratamiento térmico dando lugar a distintos silicatos que favorecen la disolución del magnesio con el ácido carbónico y ácidos minerales como el ácido sulfúrico.

Se ha desarrollado un procedimiento como alternativa para el aprovechamiento de las serpentinas niquelíferas que consiste en la activación térmica de los compuestos de magnesio lo que posibilita su disolución y así de este modo disminuir su contenido en el mineral en más de un 38%.

El empleo de la carbonatación a bajas presiones de CO₂ de las pulpas acuosas del material calcinado permite obtener carbonato básico de magnesio de buena calidad por la descomposición térmica del bicarbonato de magnesio disuelto en el agua carbonatada.

Abstract.

High pressure acid leaching of oxidized nickel ores is limited by the magnesium contents.

Material with relative high magnesium contents are economically not procurable due to high sulfuric acid consumption.

Former experiences have demonstrated that serpentine mineralogical structure can be thermally modified forming different silicate compounds which favour the magnesium dissolution in carbonic acid and sulfuric acid.

A new procedure for the nickeliferous serpentine utilization has been studied at laboratory scale, consisting of the thermic activation of the magnesium compounds permitting its dissolution and in consequence lowering the magnesium content in 38% approximately.

A good quality magnesium carbonate can be obtained by thermal decomposition of the magnesium bicarbonate dissolved in water, when low CO₂ pressure carbonation of the calcined ore aqueous pulp is used.

I.- Introducción

El procesamiento de minerales lateríticos por la lixiviación ácida a presión está económicamente limitada a minerales con bajos contenidos de magnesio por lo que grandes reservas de minerales serpentínicos con contenidos mayores de 5 % no son procesables por esta tecnología debido entre otros factores al elevado consumo de ácido sulfúrico.



Desde hace casi tres décadas se comenzaron en nuestro Centro de Investigaciones los estudios para disminuir los contenidos de magnesio de los minerales serpentínicos mediante la lixiviación con agua y dióxido de carbono a presión de los materiales calcinados (1).

La tecnología desarrollada para el aprovechamiento de los minerales serpentínicos en el procesamiento por la vía de la lixiviación ácida a presión a nivel de laboratorio, consiste en la activación de los compuestos del magnesio mediante la calcinación del mineral a temperaturas entre 600 - 750 °C y la extracción del magnesio por la carbonatación de las pulpas acuosas de los calcinados con el gas CO₂ a bajas presiones.(2,3,4)

Con este tratamiento se logra aumentar la concentración de níquel y cobalto en los residuos calcinados y lixiviados con relación a su contenido en el mineral inicial y disminuir el contenido de magnesio en cerca de un 40 %.

El bicarbonato de magnesio contenido en la fase líquida de las pulpas carbonatadas se descompone térmicamente con la formación de carbonato básico de magnesio de pureza aceptable utilizable en la neutralización de licores ácidos.(5,6)

II.- Materiales y Métodos.

Para la realización de los trabajos se utilizaron mezclas de muestras de serpentinas de alto magnesio (AMg) y bajo magnesio (BMg). En la Tabla I se muestra la composición química de las muestras utilizadas y de su mezcla.

La mezcla de serpentina de alto y bajo magnesio se preparó con relación 1:1 de los materiales molidos -1 mm homogeneizándose por el método de cono y anillo.

Tabla I: Composición química (%).

Muestra	Ni	Co	Mg	Fe	Al	Cr	Mn	SiO ₂	Pe (g/cm ³)
Bajo Mg	1.97	0.11	7.88	26.61	2.94	1.69	0.41	20.97	2.90
Alto Mg	1.41	0.031	15.39	13.64	1.22	0.85	0.21	36.00	2.60
mezcla	1.56	0.053	11.38	18.11	1.98	1.06	0.31	26.61	2.71

La distribución del tamaño de partículas de la mezcla (-1 mm) fue la siguiente:

TABLA II: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA

Tamaño de partícula (mm)	Peso (%)	Acumulado (%)
-1+0.5	11.8	11.8
-0.5+0.1	23.1	34.9
-0.1+0.074	3.1	38.0
-0.074+0.045	6.2	44.2
-0.045	55.8	100.0

De acuerdo a los resultados obtenidos por difracción de RX y análisis térmico diferencial (2) se procedió a evaluar la reactividad de los compuestos de magnesio contenidos en la muestra



mezclada sometida a la calcinación en un rango de temperatura de 600 a 800 C° zonas donde se reporta la aparición de fases amorfas químicamente activas.

La calcinación se realizó en un horno mufla tubular provisto de registro de temperatura por termopares acoplados en el interior del tubo y de suministro de aire para desalojar la humedad liberada de las muestras.

Las pruebas de la calcinación se realizaron en condiciones dinámicas en un horno de botella provisto de registro de temperatura por termopares acoplados en el interior del tubo y de suministro de aire para desalojar la humedad liberada de las muestras.

La botella giraba a 33 r.p.m. Se varió el tiempo de calcinación entre 0.5 y 1.5 h y se seleccionó la temperatura de 750°C para la serpentina mezcla. Para determinar el tiempo mejor se realizó la prueba de demanda ácida a los calcinados obtenidos.

La reactividad relativa de las muestras calcinadas se evaluaron mediante el método de demanda de ácido el cual consistía en tomar una cantidad de muestra (10.0g) mezclarla con 250 ml. de agua y calentar con agitación hasta mantener la temperatura de 65.0C. Una vez estabilizada la temperatura se añadía solución de H₂SO₄ 3.0 N hasta lograr un valor de Ph final estable de 2.5. La pulpa se filtraba y el residuo era lavado con agua acidulada (Ph=2.0) y porciones de igual volumen de agua caliente. El filtrado y las aguas de lavado se enrasaban a 1.0 litro con agua y los sólidos eran secados a 110C°. Tanto los sólidos como las soluciones eran analizados utilizando espectrofotometría de absorción atómica (E.A.A.) y plasma acoplado inducido (I.C.P.)

Carbonatación de los calcinados.

Las pruebas de optimización de la carbonatación se realizaron mediante un diseño factorial 2⁴⁻¹ con 3 repeticiones en el punto central utilizando la mezcla de serpentina.

Las variables estudiadas y sus rangos fueron los siguientes:

Variable	Máximo	Rango Medio	Mínimo
X ₁ : Tamaño de partícula (% bajo 0.045 mm)	86	73	60
X ₂ : Relación L/S $\left(\frac{\text{Volumen}}{\text{Peso}} \right)$	30	19	8
X ₃ : Presión parcial de CO ₂ (PCO ₂ (atm))	15	10	5
X ₄ : Tiempo (min.)	90	60	30

Se mantuvieron constantes la temperatura de calcinación (680 °C) y el tiempo de calcinación (1 h).

Como respuesta se evaluó la extracción de magnesio en % la cual fue calculada en cada prueba por el factor del Fe según la ecuación:

$$\text{PM g} - 100 - \frac{\text{Mg cola} \cdot \text{Fe cabeza}}{\text{Fe cola} \cdot \text{Mg cabeza}}$$

donde: Mg cabeza = 13.48 % Ni = 1.71 %



Fe cabeza = 21.61 %

Co = 0.068 %

Precipitación del carbonato básico de magnesio

A partir de un compósito de licor producto de la carbonatación de varios ensayos (10 L) se realizaron las pruebas de precipitación del carbonato básico de magnesio de los mismos.

El contenido inicial de magnesio en el compósito fue de 2.32 g/L.

Se realizó la precipitación de magnesio del licor compósito con respecto al tiempo y la temperatura.

Los experimentos se realizaron con calentamiento indirecto y con suficiente agitación a partir de 1 L de licor. Se hizo muestreo del licor y se compensaba la cantidad de agua evaporada con agua calentada a igual temperatura. Las muestras fueron rápidamente filtradas y el licor filtrado acidulado para evitar la precipitación posterior de los componentes.

III.- RESULTADOS Y DISCUSION

Calcinación de la serpentina.

Para determinar el tiempo mejor se realizó la prueba de demanda ácida a los calcinados obtenidos, los resultados se presentan en la Tabla III

Tabla III. INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CALCINACIÓN

PARÁMETROS EVALUADOS	TIEMPO DE CALCINACIÓN (h)		
	0.5	1.0	1.5
Consumo de H ₂ SO ₄ 2.94 N (mL)	24	28	29
PH inicial	9.1	8.6	8.9
Consumo H ₂ SO ₄ (Kg./t)	345.8	403.5	417.9
Peso final (g)	8.0	7.5	7.4

No hubo diferencia significativa entre los parámetros de calcinación a 1 y 1.5 h, en cuanto a la demanda ácida por lo que se tomó como 1 hora el tiempo de calcinación y con ese tiempo se evaluó por demanda ácida la calcinación a diferentes temperaturas, los resultados de estas pruebas y los valores de extracción de magnesio de los calcinados después de carbonatados con condiciones extremas (Relación L/S=40/1, PCO₂= 15 atm, T lix= 90 min) se presentan en la Tabla IV



TABLA IV: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE CALCINACION

	Temperatura de calcinación (°C)							
	Crudo	500	550	600	650	700	750	800
Consumo de H ₂ SO ₄ 2.94 N (mL)	3.3	3.0	17.5	27	34	29.5	28	4.0
PH inicial	6.65	7.1	8.2	9.3	8.9	9.0	8.6	6.7
Consumo H ₂ SO ₄ (Kg./t)	47.5	43.2	252.2	389.0	489.9	425.0	403.5	57.6
Peso final (g)	8.6	8.8	8.2	8.0	7.7	7.6	7.5	8.7
Extracción de Mg en carbonatación (%)	4.8	12.2	24.4	37.6	41.9	39.8	37.9	13.64

De los resultados de la tabla 6, se corroboró que el rango de temperatura óptimo es 650°C-750°C para esta serpentina y dentro de este rango el mejor resultado se obtuvo a 650°C, donde hubo mayor consumo de ácido en el calcinado y mejor extracción de magnesio en la carbonatación

Carbonatación de la serpentina calcinada.

En la Tabla V se presentan las condiciones y los resultados evaluados en los experimentos del diseño.

Tabla V. CARBONATACIÓN DE LA SERPENTINA CALCINADA

						Resultados Evaluados			
						Sedimentación		Filtración	
No Exp.	Tamaño de partícula (mm) X ₁	Relación L/S X ₂	PCO ₂ (atm) X ₃	Tiempo (min) X ₄	Ext. Mg (%) Y	% Sólido	Velocidad (m/h)	% Sólido	Velocidad (l/m ² /h)
1	60	8	5	30	118	41.25	0.25	59.2	1349.8
2	86	8	5	90	23.4	37.75	0.20	60.8	1379.5
3	60	30	5	90	36.1	35.60	0.54	61.8	1278.1
4	86	30	5	30	28.2	38.20	0.52	57.1	1146.7
5	60	8	15	90	24.4	38.76	0.48	59.8	1051.2
6	86	8	15	30	23.2	37.82	0.21	58.6	1063.1
7	60	30	15	30	34.1	38.0	0.55	58.6	1290.1
8	86	30	15	90	36.5	35.64	0.27	59.4	1194.5
9	73	19	10	60	34.3	39.1	0.46	-	1027.3
11	73	19	10	60	33.1	40.06	0.51	-	1039.2
12	73	19	10	60	34.9	38.9	0.50	-	1098.9

Conforme a los resultados obtenidos en el desarrollo del diseño planificado la relación L/S es la variable de más significación, de tal forma, en la optimización de los parámetros concebimos no estudiar relaciones más altas por problemas de capacidad de equipamiento y bajas concentraciones de Mg disuelto lo que requería de costos más altos en su procesamiento. En la Tabla VI se muestran los resultados de la optimización.



Tabla VI: Pruebas de optimización de la extracción de Mg

No Exp	Tamaño Partícula (mm)	Relación L/S	P _{CO2} atm	Tiempo min	Ext. Mg %
1	60	30	5	30	35.90
2	60	30	7.5	45	36.10
3	60	30	10	60	37.10
4	60	30	10	75	38.00

En todos los ensayos las muestras fueron sedimentadas y filtradas las pulpas espesadas, el contenido promedio de los residuos en base seca fueron de:

Ni = 1.83% Co = 0,065% Mg = 8.14%

Precipitación del carbonato básico de magnesio.

En la Tabla No VII se muestran los resultados de la precipitación del magnesio.

Tabla VII: PRECIPITACION DEL MAGNESIO

Tiempo precipitación (min)	T (°C)	Mg (g/L)	% precipitación Mg
0	25	2.32	0
4.5	56	2.22	4.3
5.0	58	1.48	36.2
7.0	65	1.48	36.2
9.0	72	1.10	52.6
10.0	76	1.02	56.0
11.0	82	0.90	58.0
12.0	85	0.59	74.6
13.0	87	0.59	74.6
15.0	90	0.54	76.7
17.0	95	0.49	78.9
19.0	98.5	0.33	85.8
25.0	98.5	0.02	99.0

Como se ve una vez alcanzados los 98.5°C, sólo se requieren 6 minutos para la precipitación total, por lo que la precipitación es muy rápida.

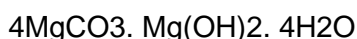


Caracterización del carbonato básico de magnesio.

Con estos objetivos se procedió al análisis químico de una muestra compósito del carbonato básico de magnesio precipitado de los licores de la carbonatación de la serpentina calcinada en base seca.

Elemento	Mg	Ni	Fe	Co	Si	Cr	Mn	Al
(%)	25.19	0.37	0.025	0.023	0.019	0.0098	0.0098	0.0080

De acuerdo al análisis por difracción por RX el producto obtenido presenta la siguiente composición:



IV.- CONCLUSIONES

Los compuestos de magnesio en la serpentina niquelífera son activados térmicamente por calcinación a temperaturas de 600-750 C°.

La máxima extracción de magnesio de los materiales calcinados es de 38.00% por el proceso de carbonatación.

La precipitación del carbonato básico de magnesio se logra por la descomposición térmica del bicarbonato de magnesio disuelto en el agua carbonatada con un contenido de magnesio de 25.19%

Producto de la calcinación y posterior extracción del magnesio se logra aumentar la concentración del níquel en el mineral en mas de un 15% con relación a la concentración inicial.

V.- REFERENCIAS.

1. Granda, O. 1977, Tratamiento de los minerales serpentínicos niquelíferos para disminuir su contenido de magnesio. R.T. 286 CIPIMM.
2. Hernández . N y otros. 1988, Pruebas a escala ampliada de la lixiviación de la magnesita del Yacimiento Redención con ácido carbónico I.T. 88. CIPIMM.
3. Hernández S, J. Castellanos. y otros. 1972, Metalurgia Extractiva de los minerales oxidados del níquel. Instituto Cubano del Libro. La Habana, .
4. Granda O. 1985, Lixiviación con ácido carbónico de los minerales niquelíferos reducidos. Revista Tecnológica, Vol XV, Minería 1, 29-39.
5. Hernández, N. y O. Granda. 1992, Obtención del óxido de magnesio a partir de la magnesita del yacimiento Redención, Revista Tecnológica, Vol XXII, No 2, 51-56.
6. Granda O. 1977. Alternativa para el incremento de la producción de la planta Comandante Pedro Soto Alba (Moa) La Habana. Reporte técnico 276-17p.



PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS REDES RACIONALES DE EXPLORACIÓN DE LOS YACIMIENTOS LATERÍTICOS DE NÍQUEL Y COBALTO EN LA REGIÓN DE MOA.

León Ortelio Vera Sardiñas⁽¹⁾, Arístides Alejandro Legrá Lobaina⁽²⁾

(1) Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: overa@ismm.edu.cu

(2) Departamento de Matemática. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: alegra@ismm.edu.cu

RESUMEN

El trabajo de investigación que se expone, Procedimiento para la Determinación de las Redes Racionales de Exploración de los Yacimientos Lateríticos de Níquel y Cobalto en la Región de Moa muestra los resultados obtenidos en la elaboración de un sistema de algoritmos para determinar las densidades de las redes de exploración más racionales para el estudio de dichos yacimientos sobre la base de un análisis geológico y geoestadístico.

El empleo de herramientas avanzadas en el campo de la geoestadística como son el *Kriging* puntual y de bloque, los variogramas, la simulación de redes y la determinación de errores de estimación, entre otros, permitió arribar a un procedimiento, utilizable, con un adiestramiento previo, por los geólogos dedicados a la prospección y exploración de estos tipos de yacimientos.

Se exponen además algunos resultados de la aplicación del procedimiento en dos bloques pertenecientes a dos dominios geológicos del yacimiento Punta Gorda, dominios que fueron determinados especialmente para este trabajo y finalmente se presenta un cuerpo de conclusiones que se refieren a los aportes científicos realizados durante la investigación así como un grupo de recomendaciones relacionadas con la aplicación práctica del procedimiento presentado y con nuestras consideraciones para la continuación de estos trabajos.

ABSTRACT

The investigation that is exposed "Procedure for the Determination of the Rational Nets of Exploration of the lateritics ore body of Nickel and Cobalt in the Region of Moa" show the results obtained in the elaboration of a system of algorithms for to determine the densities of the most rational exploration nets for the study of this ore body on the base of a geologic and geostatistical analysis.

The employment of advanced tools in the field of the geostatística like they are the Punctual Kriging and of Block, the variograms, the simulation of nets and the determination of estimate errors, among other, it allowed to arrive to a procedure, usable, with a previous training, for the geologists dedicated to the prospecting and exploration of these types of ore body.

They are also exposed some results of the application of the procedure in two blocks belonging to two geologic domains of the ore body Punta Gorda, domains that were determined especially for this work and finally a body of conclusions is presented that refer to the scientific contributions carried out during the investigation as well as a group of recommendations related with the practical application of the presented procedure and with our considerations for the continuation of these works.

Introducción

Desde que se iniciaron los estudios de los primeros yacimientos lateríticos de Níquel y Cobalto en el mundo, han sido realizados numerosos intentos para determinar las densidades más racionales de las redes de exploración, que permitieran una mayor exactitud en la evaluación y



cálculo de recursos y reservas, como resultado de lo cual se han desarrollado numerosos métodos que con diferentes grados de aproximación permiten establecer las densidades de las redes de exploración.

En la literatura especializada (Bustillo R. M. y C. L Jimeno, 1997, Lepin O. V. y J. Ariosa 1986) son conocidos cuatro métodos clásicos principales:

- a) De analogía b) De enrarecimiento c) Analítico d) De comparación de los resultados de la exploración con la explotación.

La experiencia acumulada demuestra que cada yacimiento y dentro de él cada sector o dominio geológico, tienen sus características propias y que cada caso concreto requiere del análisis particular, a partir del cual se tomarán las medidas más adecuadas en cuanto a las densidades de redes a utilizar.

Dentro del conjunto de informes consultado para la realización de la presente investigación, en los que se proponen redes (1,4,6,7,8,10,11,12,13) se observa que, excepto en unos pocos casos, estas se establecen de forma global para todo el yacimiento, lo cual entra en contradicción con la propia heterogeneidad de los mismos, y como se ha dicho anteriormente, se requieren redes diferentes para cada uno de los sectores con características propias.

El Problema Científico abordado consiste en que los métodos tradicionales empleados en la región de Moa para establecer las densidades de las redes de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto, al no tener en cuenta las características de los diferentes dominios geológicos de los yacimientos, sus variabilidades y no aplicar un modelo adecuado, no responden a las características complejas de estos yacimientos y sólo permiten establecer redes con carácter regional para todo el yacimiento.

El objetivo de la investigación es elaborar un procedimiento general para la determinación de las redes regionales de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa.

Como **objetivo específico** se plantea obtener los dominios geológicos del Yacimiento Punta Gorda sobre la base del comportamiento de sus parámetros geomorfológicos, geológicos y geoquímicas

La hipótesis de partida se basa en que si se conoce el comportamiento de la variabilidad de los parámetros geológico – industriales de los yacimientos lateríticos de Ni y Co, se escogen las variables más informativas y se utiliza el modelo adecuado, entonces es posible establecer las redes racionales para su exploración, dado el hecho de que la densidad de la red de exploración estará siempre en función de la complejidad geológica del yacimiento estudiado y del modelo que se utilice.

Materiales y Métodos

La base teórica fundamental sobre la cual descansó la investigación estuvo dada por el voluminoso arsenal bibliográfico sobre los yacimientos lateríticos de la región objeto de estudio,



Paso 1: Definición de los parámetros P_i y de las etapas E_j .

Consiste en definir explícitamente los parámetros y etapas en que se desarrollará el reconocimiento del dominio que se estudia.

Para el yacimiento Punta Gorda, que explota la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara y donde se ha aplicado el presente procedimiento hemos trabajado con los parámetros: potencia de escombros, potencia de mineral útil, contenido de níquel y contenido de hierro.

Paso 2: Precisar las necesidades de mejorar el conocimiento de cada parámetro P_i .

Si no se tiene definido el conjunto de paneles BN_j para la red actual, deben definirse antes de considerar los paneles para la nueva etapa (Fig. 2).

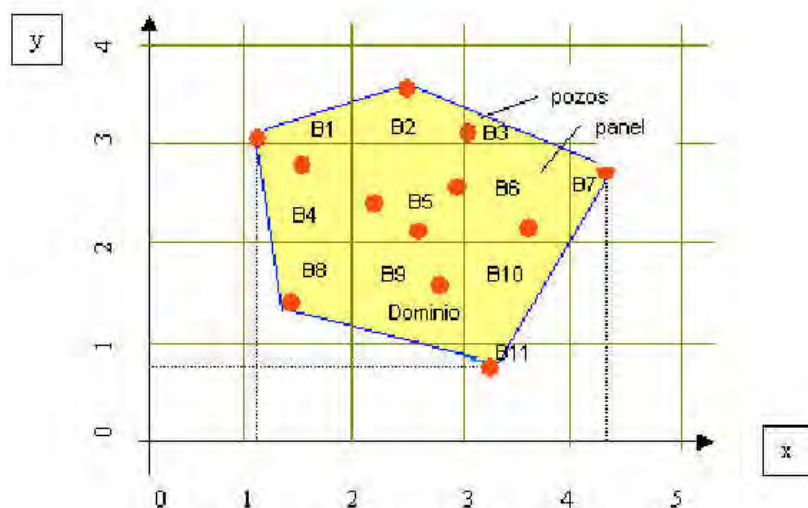


Fig. 2. Ilustración del trazado de paneles

Primero debe definirse en cuales zonas del dominio se necesita conocer el valor del parámetro P_i con el error definido para la nueva etapa. Esto implica la necesidad de definir un nuevo conjunto BN_{j+1} de paneles en los cuales es necesario mejorar el conocimiento lo cual puede orientar posteriormente sobre una versión preliminar de la nueva red de muestreo.

El tamaño de los paneles depende de varios factores relacionados con el grado de conocimiento que se desee tener en cada etapa pero siempre es necesario que sea cubierto con estos paneles todo el dominio D que se analiza. Una forma de lograrlo para redes cuadradas es tomando una red auxiliar regular, y estimar los paneles del tamaño del área de la zona de influencia que se considera usualmente para la red que se tiene. Gráficamente puede ilustrarse como se muestra en la figura 2.

Paso 3: Creación del escalafón de los parámetros P_i .



En este paso deberá realizarse un estudio completo de las variabilidades para cada parámetro P_i , a partir de la información disponible sobre ellos, con el objetivo de definir el orden o escalafón de variabilidad de dichos parámetros.

Metodológicamente se propone que los elementos a analizar sean:

- Coeficiente de Variación. Calculados sobre la base de: a) media aritmética, b) media geométrica, c) mediana, d) media cuadrática.
- Coeficiente de variabilidad de Pearson en las direcciones norte - sus y este – oeste.
- Determinación de la estructura de los datos separando la componente aleatoria de la componente determinística (si existe) mediante la realización de los análisis de tendencia. Matemáticamente el comportamiento de $P(x,y)$ se describe mediante una función del tipo:

$$P(x,y) = T(x,y) + A(x,y)$$

donde $T(x,y)$ es la componente determinística y $A(x,y)$ es la componente aleatoria o casual.

- Análisis de covarianza y de componentes principales entre todas las variables y grupos de ellas. En este paso pueden crearse nuevas variables que reflejen la variabilidad de un grupo o de todas las variables originales y esto no solo tiene la ventaja de sintetizar el trabajo sino que además permite detectar relaciones importantes entre los parámetros.
- Variabilidad Geoestadística de cada variable original o creada.

Se utilizan las herramientas de la Geoestadística debido a la conocida capacidad que tiene esta rama de la Matemática Aplicada, al ser utilizada correctamente, de reflejar de manera fidedigna el comportamiento de estos parámetros. Debe destacarse que el *Kriging Puntual* y *de Bloque* serán utilizados en la medida que sean más adecuados a los propósitos de la modelación. Por otra parte se usará *Kriging Ordinario* para comportamientos estacionarios, *Kriging Ordinario con Trend* para comportamientos no estacionarios y *Kriging Universal* para comportamientos cuasi-estacionarios según lo aconsejen las consideraciones que surjan del análisis variográfico de los datos.

Paso 4: Comprobar para cada parámetro P_i si la red actual satisface (o no satisface), con el modelo seleccionado, el nuevo grado del conocimiento que se necesita.

Para esto se pueden aplicar los siguientes algoritmos:

- a. Número Rojo de Osedsky (Lepin, O. Y Ariosa I. J, 1986)
- b. Análisis de Errores de *Kriging*: Consiste en el cálculo del error del parámetro P_i , en cada panel del conjunto de nuevas celdas o paneles del conjunto BN_{j+1} a partir de los n puntos de la red (o de una parte de estos puntos) de la etapa actual E_j . El error calculado E_p no debe ser mayor que el error $e_{i,j+1}$ prefijado para la etapa E_{j+1} . Dicha estimación se realizará mediante *kriging de bloque* de manera que en cada panel se obtiene el valor:

$$Ep = \frac{\sigma_{Est.}}{P_{iEst.}} \times 100$$

Donde $P_{iEst.}$ es el valor estimado del parámetro y $\sigma_{Est.}$ es la raíz cuadrada de la varianza de estimación (error de estimación). Si Ep es menor que $e_{i,j+1}$ para todos los paneles de BN_{j+1} ,



entonces la red actual es suficiente para conocer cada parámetro P_i en la próxima etapa y se procede a ejecutar el Paso 7. En caso contrario deberá realizarse el Paso 5.

Paso 5: Establecer los nuevos posibles puntos de muestreo.

Se establece una nueva malla regular de puntos que podrán ser parte del posible muestreo. En esta nueva malla (que puede o no coincidir con los nuevos paneles) el lado de la cuadrícula de la red será:

$$\alpha_2 = \alpha_1 / F_o$$

Donde: α_2 – Lado de la nueva malla de muestreo

α_1 - Lado de la malla de muestreo anterior

F_o – Factor de reducción, siempre mayor que 1.

Con lo cual se calcula el número máximo de puntos posible de una nueva red regular mediante la expresión:

$$n_{\max} = \frac{A_{\text{Total}}}{\alpha_2^2}$$

Donde: n_{\max} – Número máximo de puntos en la nueva red

A_{Total} – Area total del dominio que se analiza

Esta distribución debe realizarse de acuerdo con las proporciones de los lados del rectángulo formado y tratando que compongan una red regular (debido a que en las redes regulares los errores por *Kriging* disminuyen con respecto a las redes irregulares). Si se eliminan algunos o todos los puntos que están fuera de la frontera del dominio, lo cual no siempre es conveniente hacer, y los que coinciden con puntos de la red actual que analizamos, quedarán los n^1 puntos posibles de la nueva red de muestreo. Gráficamente esto se ilustra en la Fig. 3.

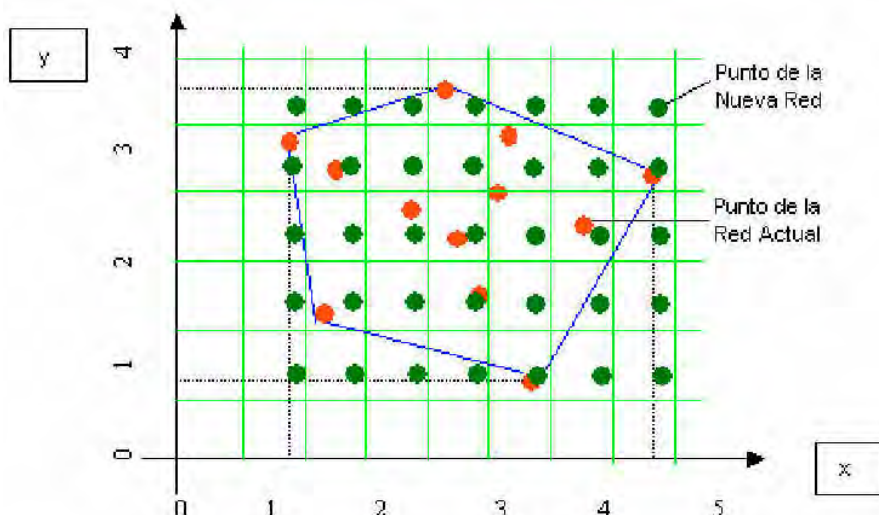


fig. 3. Determinación de los nuevos posibles puntos de muestreo

En este caso se tiene que $n_{\max} = 35$ y $n^1 = 16$, ya que 16 puntos están evidentemente fuera de la frontera del dominio y se considera la coincidencia de 3 puntos (aunque hay otros tres que valdría la pena analizar). También se ha representado el conjunto de nuevos paneles donde se definirá el nuevo conocimiento del dominio D. Nótese que los puntos de la nueva red no tienen



que estar obligatoriamente en el centro de cada panel aunque esto es deseable; tampoco es imprescindible que cada panel contenga al menos un punto de la nueva red ya que puede no tener ninguno o tener uno o más puntos.

Paso 6: Determinación de la nueva red

Para la determinación de la nueva red se asume el modelo geoestadístico por ser el más adecuado ya que además de presentar las herramientas necesarias, es capaz de reflejar las características esenciales de la variabilidad del parámetro que se estudia, dadas por el variograma general y los resultados del análisis de la anisotropía y de la zona de influencia.

En el marco de esta investigación se asumió dentro de los modelos geoestadísticos el *kriging*, al ser el mejor estimador lineal insesgado ya que minimiza la varianza de estimación [Chica Olmo M. 1989; García P. 1988] por lo que mediante el error de *kriging de bloque* se reflejará la confiabilidad del conocimiento nuevo que se obtendrá con la nueva red y este valor será el que definirá la credibilidad de la red que simularemos en los n^1 puntos propuestos en el Paso 5.

Como se ha planteado en el Paso 4 en cada panel de BN_{j+1} , se tiene el valor Ep que expresa el error porcentual del valor estimado. Entonces se puede señalar el panel $B_{MayorEp}$ donde se halla el mayor de los módulos de los Ep ; se le agrega a la red actual el punto (x,y,P_{Est}) de la nueva red propuesta que esté más cercano al centro del panel $B_{MayorEp}$; a continuación eliminamos el punto agregado del conjunto G de los datos que están en la nueva red y no están en la actual y se repite el Paso 4 para comprobar si la red actual satisface, con el modelo seleccionado, el nuevo grado del conocimiento que se necesita para el parámetro que se analiza y se repite luego el Paso 6.

Paso 7: Determinación de la concentración racional de puntos.

Para la determinación de una red regular racional de puntos se parte del momento en que a la red actual, a la que llamaremos RED_F se le han adicionado los puntos necesarios que permiten satisfacer, con el modelo seleccionado, el nuevo grado del conocimiento que se necesita en los paneles de BN_{j+1} . Es decir que en cada uno de los paneles el error Ep sea menor que el error máximo permisible para dicha etapa. (observese la fig. 4)

Esta nueva red tendrá n_F puntos y se cumplirá generalmente que el número de puntos de la nueva red n_F será menor o igual que el número de puntos totales simulados n^1 en el conjunto BN_{j+1} . Si llamamos a $d_F = n^1 - n_F$ entonces la eficiencia particular de la nueva red queda expresada por:

$$EF = d_F / n^1 \times 100$$

Esto no significa que no pueda obtenerse otra red mejor, lo que se puede comprobar tomando $F_o = F_{o \text{ anterior}} + INC$ en la expresión $\alpha_2 = \alpha_1 / F_o$, donde INC es una variable positiva que refleja la disminución del lado de la red, recomendándose tomar el valor $INC = 1$ al pasar de una red a otra más densa, repitiéndose los pasos 4, 5 y 6.

Debe aclararse que no se densifican los paneles, si no la red de muestreo.

Si se repite este proceso para $F = F_o + INC_1, F_o + INC_2, \dots, F_{o \text{ max}}$, entonces se podrá definir cual de las redes RED_F es mejor, atendiendo a la cantidad de nuevos puntos que se tengan en cada una de ellas, a los errores que se esperan y a la relación de estos puntos de la nueva red con otras propiedades cualitativas y cuantitativas del Modelo Geológico Integral del dominio que se



analiza y que no se han podido reflejar en el Análisis Variográfico y en el *Kriging* y que por supuesto tengan algún interés para el geólogo y el minero.

El valor de $F_{o\max}$ deberá ser aquel que para los nuevos puntos del conjunto G que él determina es el último donde:

$$\text{Costo de la Red} \leq \text{Ingresos} - \text{Otros Costos} - \text{Ganancias Esperadas}$$

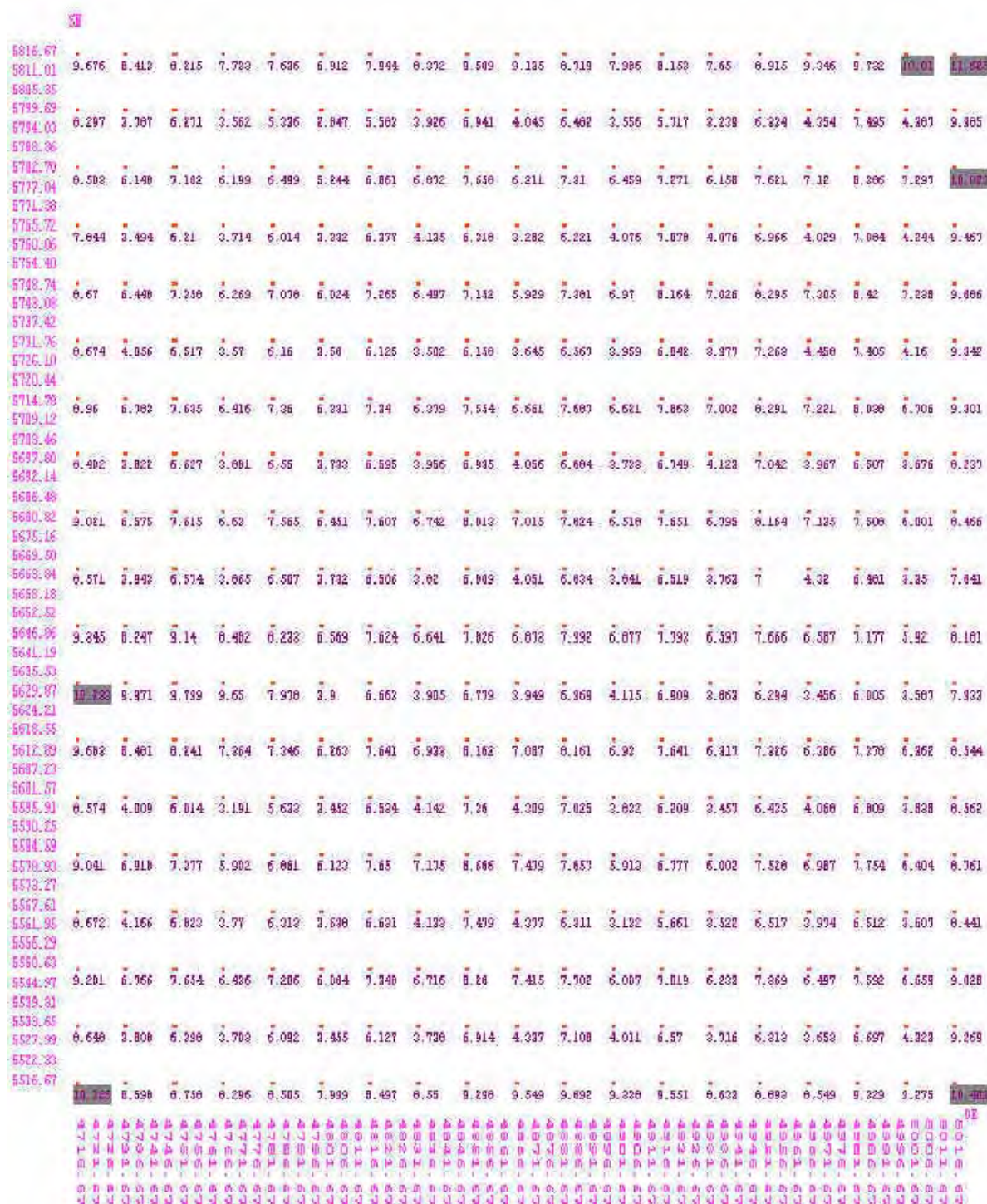


Fig. 4. Resultados del error de estimación en los paneles de lado 16.66m modelados a partir de la red de muestreo de 33.33m en el O –48, para el parámetro contenido de níquel. (Los fondos grises corresponden a los paneles donde los errores de *kriging* de bloque entre los valores estimados, multiplicados por 100, sobrepasan el 10%).



Conclusiones

1. El procedimiento presentado para la determinación de redes racionales de exploración, basado en un análisis geológico y geoestadístico por dominios geológicos responde a las necesidades en cuanto al grado de conocimiento necesario en cada etapa de exploración de los yacimientos lateríticos de níquel y cobalto en la región de Moa.
2. La aplicación de este procedimiento permitirá racionalizar los trabajos de exploración de estos yacimientos puesto que solo se realizarán los muestreos imprescindibles en las posiciones geométricas más adecuadas, con el consiguiente efecto económico positivo y con la obtención de resultados más confiables y científicamente argumentados.
3. Se obtuvo por primera vez, a partir del procesamiento de toda la información geológica disponible del Yacimiento Punta Gorda, la delimitación de sectores con características relativamente homogéneas, (Dominios Geológicos) y se incrementó su grado de conocimiento geológico.
4. El procedimiento presentado, basado en los conceptos geológicos y tecnológicos principales que se manejan en la industria cubana del níquel así como en elementos básicos de la Matemática Geológica actual, puede ser aplicado por el personal técnico de nuestras minas, de las empresas de proyectos y de la ONRM, después de un entrenamiento adecuado.

Recomendaciones

1. Introducir el presente procedimiento como base metodológica para tomar decisiones en cuanto a la racionalización de redes de exploración en los yacimientos lateríticos de la región de Moa.
2. Estudiar la posibilidad de elaborar una metodología técnica particular para clasificación de recursos y reservas en los yacimientos lateríticos cubanos, sobre la base de este procedimiento y de la legislación vigente que se relaciona con este tema.

Referencias bibliográficas.

- Arias del T. J. A., 1984. Geometrización y Variabilidad de un Sector del Yacimiento Martí. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, Holguín.
- Bustillo R. M. y C. L. Jimeno., 1997. Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras, Madrid: Entorno Gráfico S.L.
- Chica Olmo M., 1989. Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales. Tesis doctoral. Universidad de Granada, Granada.
- Garcell P. y Ricardo A., 1988. Investigación de la variabilidad cuantitativa y cualitativa de la zona del yacimiento Moa. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, Holguín.
- García, P. A., 1988. Geoestadística Operacional. Ministerio de Minas y Energía. Departamento de Producción Mineral, Brasilia,
- Ilidio L. D., 1999. Análisis Variográfico del Yacimiento Camarioca Norte. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, Holguín.
- Jordan R. M., 2000. Análisis Variográfico del Grupo VII del Yacimiento Martí. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, Holguín.
- Lavaut C. W., 2 000. Sobre el Estudio Preliminar de las Redes de Perforación y Muestreo para el Cálculo del Mineral Laterítico. E.G.M. Santiago de Cuba.
- Lepin O. V. y J. D. Ariosá., 1986. Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo – Económica de los Yacimientos Minerales Sólidos. Primera parte. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana.
- Leyva R. R. y E. F. Soler., 1984. Racionalización de las Redes de Perforación de Escombro en los Yacimientos Ferroniquelíferos de Nicaro. Trabajo de Diploma. ISMM, Moa, Holguín.



- López A. J., 1981. Cálculo de las redes óptimas para el estudio de los yacimientos niquelíferos de la Empresa Comandante René Ramos Latourt. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa, Holguín.
- López D. J., 1986. Cálculo de las redes óptimas del Yacimiento Camarioca Este, Trabajo de Diploma. ISMM. Moa, Holguín.
- Pérez R., 1972. Estudio preliminar sobre redes de exploración. Informe. Empresa Comandante René Ramos Latourt.