



Los estudios de Geología en la Universidad de Pinar del Río, fueron creados en 1972. En sus inicios se impartió en la localidad de Minas de Matahambre hasta su traslado en 1985 para la capital de la provincia. Más adelante pasó a integrar la Facultad de Ciencias Técnicas. Cursan sus estudios alumnos cubanos de occidente y centro del país y extranjeros, principalmente de África.

Los graduados reciben el título de Ingeniero geólogo, con un plan de estudios que permite acometer tareas en el campo de la Geodinámica, Geoquímica, Geofísica y Geología Aplicada, así como una preparación básica que facilita enfrentar las exigencias de la educación posgraduada.

Cuenta con varios laboratorios (petrografía, mineralogía, paleontología y computación). Además, posee un museo que colecciona un amplio conjunto de materiales que se utilizan en la docencia y en la investigación.

Actualmente el currículum que se imparte pretende un profesional que ejecute los trabajos geológicos, teniendo en cuenta su evaluación económica y ambiental, con la finalidad

de lograr una explotación racional del medio geológico en correspondencia con un desarrollo sostenible. Para garantizar ese objetivo se imparten 59 asignaturas y 7 prácticas de campo. La organización de estas se basa en los principios de la integración y la sistematización de los contenidos básicos de las diferentes disciplinas y asignaturas. La actividad final del estudiante constituye la defensa de un trabajo de diploma que le permita demostrar los conocimientos adquiridos.

#### LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- Estratigrafía y tectónica de la Cordillera de Guaniguanico.
- Metalogía del occidente de Cuba.
- Estudio de impacto ambiental y riesgos geológicos.
- Uso pacífico de explosivos.
- Construcciones subterráneas.
- Ingeniería Geológica.
- Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica.

#### SUPERACIÓN DE POSGRADO

##### CURSOS DE POSGRADO:

Se diseñan e imparten en las áreas de conocimientos afines, en correspondencia con las necesidades de los interesados.

#### PASANTÍAS INTERNACIONALES.

- Metalogía del occidente de Cuba.
- Estructura de las secuencias jurásicas metamorfozadas en la Sierra de los Órganos.
- Excursión geológica a Cuba.

#### DIPLOMADOS:

- Procesamiento de datos geólogo-geofísicos.
- Geología ambiental.
- Minería.

#### MAESTRÍA EN GEOLOGÍA:

- Mención de Geología regional.
- Mención de prospección y exploración de yacimientos minerales.
- Mención de Geotecnia.
- Mención Geoquímica.

#### DOCTORADOS:

- No académico: en las temáticas de estratigrafía, tectónica, metalogía, petrología, prospección, voladuras y construcciones subterráneas.
- Académico (en preparación).

#### CLAUSTRO

Un total de 19 profesores, de ellos 9 doctores en ciencias y un master. Además, 4 profesores deben defender su tesis doctoral antes de que concluya el siglo y los restantes, su tesis de Maestría.

## Propuesta para el establecimiento de la masa volumétrica en los yacimientos lateríticos de Cuba

Aristides Alejandro Legrá Lobaina<sup>1</sup>  
Ramón Gilberto Polanco Almanza<sup>2</sup>  
Juan Miguel Miranda Domínguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Profesor Asistente, Departamento de Matemáticas, Instituto Superior Minero Metalúrgico, Las Coloradas, Moa, Holguín.

<sup>2</sup>Inspector de Minas, Oficina Nacional de Recursos Minerales, Carretera de Punta Gorda, Moa, Holguín.

<sup>3</sup>Empresa Cromo Moa, Carretera de Punta Gorda, Moa, Holguín

**RESUMEN:** Las reservas de un yacimiento es uno de los factores principales que definen su importancia económica y, por tanto, la construcción de la empresa minera; la cantidad de cierto metal existente en un depósito mineral, se determina teniendo en cuenta el contenido promedio de metal y la masa total de las reservas de la mena, calculada sobre la base de la masa volumétrica establecida, por lo que cualquier inexactitud existente en la determinación de la masa volumétrica empleada se refleja también como inexactitud de los valores de reservas de metal calculadas.

En este trabajo se analizan los problemas que presenta la determinación de la masa volumétrica en los yacimientos lateríticos del noreste de Holguín, así como -para el caso de Punta Gorda del municipio Moa-, varios métodos clásicos para obtener modelos de las relaciones entre la masa volumétrica y otras variables, se presenta una nueva propuesta para el establecimiento de este parámetro a partir de un modelo matemático lineal, al considerar como variables independientes la situación geográfica y los valores de las componentes Ni, Fe y Co del mineral en el punto donde se quiera realizar la estimación.

**Palabras clave:** masas volumétricas, estimación lineal.

**ABSTRACT:** The reservations of a mineral deposit is one of the factors principle that define the economical importance of the same and therefore the construction of the mining company; the quantity of certain existent metal in a mineral deposit, it are determined keeping in mind the content average of metal and the total mass of the reservations of the ore, calculated on the base of the volumetric mass established, therefore any existent inaccuracy in the determination of the volumetric mass employed, it also are reflected like inaccuracy of the courages of reservations of calculated metal.

In this work are analyzed the problems that introduce the determination of the volumetric mass in the laterite deposits of the northeast of Holguín and after analyzing, for the case of Punta Gorda of the Moa municipality, several classical methods for getting models of the relationships between the volumetric mass and other variables, a new proposal for the establishment of this parameter starting from a mathematical lineal model of the same is introduced considering the geographical situation like independent variables and the courages of the components Ni, Fe and Co of the mineral in the point where we are wanted to carry out the estimate.

**Keywords:** volumetric masses, linear estimation.

#### INTRODUCCIÓN

Por cálculo de reservas se comprende la determinación de la cantidad de materia prima de un yacimiento o alguna de sus partes, habitualmente expresadas en toneladas métricas.

La cantidad de reservas de un yacimiento es uno de los factores principales que determinan la importancia económica del mismo y por tanto la construcción de la empresa minera, su capacidad, su vitalidad, etc.

En todo cálculo de reservas se consideran las características físicas y químicas del mineral y la geometría del yacimiento.

Es un hecho conocido que una gran cantidad de características físicas varían sensiblemente, tanto entre diferentes yacimientos, como entre distintas zonas de un mismo depósito. Entre estas características pueden señalarse la porosidad del mineral, los minerales predominantes, la distribución granulométrica, la humedad del mineral y otros que influyen directamente en los valores de la masa volumétrica de las menas.

La cantidad de cierto metal existente en una zona o yacimiento mineral, se determina teniendo en cuenta el contenido promedio de metal y el tonelaje total de las reservas de la mena, las cuales han sido calculadas sobre la base de la masa volumétrica establecida, por tanto cualquier inexactitud existente en la determinación de la masa volumétrica empleada, se refleja también como inexactitud de los valores de reservas de metal calculadas.

La determinación de la masa volumétrica a partir de mediciones en pozos criollos es el principal método empleado en los yacimientos lateríticos cubanos. Vera (1979), el número de pozos criollos que deberán ejecutarse para obtener un valor confiable, será aquel que garantice que todos los tipos predominantes de mineral, existentes en el yacimiento queden debidamente representados, con el fin de que se pueda determinar la masa volumétrica de wstos o de las mezclas en que ellos se presentan. Además, en los pozos criollos, se determinan las leyes de los componentes Ni, Co y Fe y la humedad del mineral en el macizo expresada en %.

Cuanto mayor sea el número de pozos criollos que se excaven (estos pozos coinciden, generalmente, con uno de los pozos de la red de exploración geológica) mayores serán las probabilidades de obtener una masa volumétrica verdaderamente representativa del depósito. En la práctica es necesario buscar un equilibrio entre este planteamiento y el principio de que el volumen de trabajos a realizar en la exploración geológica, debe ser el mínimo capaz de rendir resultados confiables para la categoría en que se trabaja.

En el caso de los yacimientos lateríticos cubanos, una densidad de 5-10 pozos criollos por kilómetro cuadrado de área de mineral, ha producido resultados aceptables. Vera (1979).

## DESARROLLO

### Determinación de la masa volumétrica en los yacimientos lateríticos cubanos

En general, en los yacimientos lateríticos cubanos se obtiene una masa volumétrica promedio para cada uno de los horizontes tecnológicos de mineral.

Esto significa, por ejemplo, que mediante el pesaje y determinación de la humedad de todo el mineral del pozo criollo, comprendido en la zona que se halla clasificado como laterita de balance de acuerdo con el resultado de la perforación, se establece una sola masa volumétrica para ese mineral.

De la misma forma se procede con la serpentina aunque en realidad, el mineral comprendido dentro del horizonte de serpentina blanda estará compuesto por fracciones de roca dura 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 masa volumétrica propia, se obtiene para todo el material una masa volumétrica promedio.

Sin embargo el abuso de los valores medios, en aras de simplificar los cálculos, ha conducido a la aceptación de métodos simplistas y burdos. Por ejemplo, en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa, Provincia Holguín, se ha dividido el yacimiento en tres zonas arbitrarias denominadas ETAPAS y se le asigna a cada capa tecnológica de las etapas un valor promedio

de masa volumétrica. Miranda (1998). Este método conduce evidentemente a errores groseros durante la determinación de las reservas.

Este método, que hoy se aplica a todos los minerales que se clasifican en el cálculo de las reservas, facilita las operaciones de cálculo, incluyendo las que son realizadas para el mineral extraído durante todo el período de explotación del yacimiento; sin embargo, la masa volumétrica determinada de esta forma presenta errores que han influido considerablemente en la exactitud de la determinación de las reservas y en el control de la minería.

Para el análisis que haremos tendremos en cuenta cinco aspectos.

1. Consideramos que los cálculos de reservas se realizan actualmente en los yacimientos lateríticos cubanos a partir de la zona de influencia de cada pozo de exploración mediante la fórmula siguiente. Polanco (1996):

$$R = A \times P \times M$$

Donde:

A: Área de influencia superficial del pozo de exploración, m<sup>2</sup>;

P: Potencia del pozo de exploración, m;

M: Masa volumétrica del mineral, t/m<sup>3</sup>.

Es necesario, por tanto, tener información confiable sobre el valor de la masa volumétrica de las capas tecnológicas de cada uno de estos pozos. Otras formas de calcular las reservas también precisan en sus expresiones o algoritmos del valor de la masa volumétrica por lo que este problema adquiere importancia general. Legrá (1996).

2. Los tipos tecnológicos de menas utilizados clásicamente por los geólogos en la minería cubana del níquel. Vera (1979), a saber, mineral de hierro de balance (FB), mineral de hierro fuera de balance (FF), laterita níquelífera de balance (LB), laterita níquelífera fuera de balance (LF), serpentina blanda de balance (SB), serpentina blanda fuera de balance (SF), serpentina dura de balance (SD), y roca estéril (RE) no constituyen necesariamente la clasificación más adecuada para el proceso de planificación, ejecución y control de la extracción.

Desde el punto de vista de la explotación del yacimiento, proponemos dividir el perfil vertical en las siguientes capas tecnológicas: escombros superior (ES), laterita de balance, serpentina de balance, la suma de ellas o mena industrial (LB+SB), escombros intermedio (EI) y serpentina dura, a cada una de las cuales se le estima un valor de masa volumétrica promedio en cada pozo de la red de exploración.

3. Cuando el pozo de exploración coincide con un pozo criollo, los valores de la masa volumétrica de cada capa tecnológica del pozo de exploración deben coincidir con los del pozo criollo.

4. Relación de dependencia que existe entre la masa volumétrica y los valores del contenido de algunos componentes del mineral. Considerando los trabajos de Elmer Ruz (1978) y Francisco Serrano (1991), desarrollados en los yacimientos lateríticos de la empresa «René Ramos Latour», en Nicaro, provincia Holguín, Cuba, donde se asume que la masa volumétrica es una función Ft de los contenidos de Ni, Fe y Co de la mena en cuestión y que depende además de la capa litológica que se estudie; se puede estimar la masa volumétrica de un pozo de exploración determinado para cada una de las capas tecnológicas presentes en un perfil vertical conociendo los valores puntuales de los contenidos de Ni, Fe y Co, bastaría con evaluar  $M = F_t(Ni, Fe, Co)$  si conociéramos la expresión de la función Ft.

5. Cuando estudiamos el modo de encontrar la expresión de Ft surgió de manera natural el método de los mínimos cuadrados pero en este caso la estimación no cumple la propiedad de ser interpolador exacto y además consideramos que de cierta manera Ft debía ser una función que considerara el aspecto local del fenómeno, es decir que dependiera de un conjunto de pozos criollos geográficamente cercanos.

No obstante, los autores de este trabajo analizaron la posibilidad de aplicar tres métodos muy conocidos para obtener estas masas volumétricas.

TABLA 1. Medidas estadísticas en los pozos criollos

Medidas	% de Ni	% de Fe	% de Co	Masa volumétrica
Valor mínimo	0,03	2,9	0,008	0,56
Valor máximo	4,58	52,9	0,499	2,96
Media aritmética	1,079	39,16	0,0758	1,243
Error típico de la media	0,0244	0,508	0,00258	0,0155
Desviación estándar	0,588	12,192	0,0619	0,3719
Error típico de la desviación	0,01728	0,3595	0,00183	0,011
Desviación media	0,478073	9,943	0,0458	0,3122
Coefficiente de variación	0,543052	0,3113	0,817	0,2992

Para estos resultados queremos hacer la observación de que el coeficiente de variación de la masa volumétrica es el menor de todos lo que indica que es el parámetro más estable, siendo el Co el menos estable.

TABLA 2. Coeficientes de correlación lineal

Parámetro	% Ni	% Fe	% Co	Masa volumétrica
% Ni	1	-0,3035	0,3024	-0,5526
% Fe	-	1	0,2824	0,2183
% Co	-	-	1	-0,3008
Masa	-	-	-	1

En esta tabla se observa que las relaciones lineales entre estos parámetros, tomados dos a dos, son débiles y por tanto proponemos no usarlas.

Para ilustrar la exposición que sigue, veamos gráficamente la posición de los pozos criollos con respecto al yacimiento Punta Gorda en el municipio Moa:

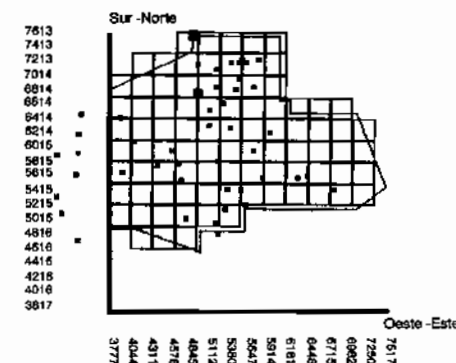


FIGURA 1. Aspecto gráfico de los pozos criollos con respecto a los bloques del yacimiento Punta Gorda.

En primer lugar se probó el método de los mínimos cuadrados para los datos de 45 pozos criollos del yacimiento Punta Gorda y se obtuvieron los siguientes resultados:

Con respecto al ajuste multilíneal se tienen los siguientes resultados:

Ecuación:  
 $M = 1,47932807 - 0,28511639 Ni + 0,00419151 Fe - 1,22340875 Co$

TABLA 3. Análisis de varianza

Variación	Valor	Grados de libertad
Explicada	26,93974043	3
Residual	52,46442554	571
Total	79,38416597	574

Error estándar de una estimación : 0.30335673  
 Error probable de una observación : 0.20443487  
 Coeficiente de correlación : 0.58250869

Coefficientes de correlación parcial :

Para el Ni : -0.43044556

Para el Fe : 0.14521463

Para el Co : -0.21273205

Si la necesidad de realizar otros análisis y pruebas estadísticas afirmamos que en este caso este método no es eficiente porque las relaciones globales entre los cuatro parámetros son débiles.

Otra posibilidad que analizamos es la de obtener por el mismo método una ecuación que reflejara la relación entre la masa volumétrica y las coordenadas geográficas por tipo de mena. Los resultados que se obtuvieron también son insatisfactorios.

El segundo método que tuvimos en cuenta es el de estimación por *inverso de una potencia de la distancia* donde el valor de  $M_t$ , estimado para un pozo de la red de exploración, depende de los valores de este parámetro para los pozos criollos teniendo más influencia aquellos que estén más cercanos. En este caso no se tendrían en cuenta las relaciones entre los valores de las componentes Ni, Fe y Co con la masa volumétrica y además habría que hacer un análisis de anisotropía y si la red es irregular y escasa (como sucede en este caso) no proporcionaría resultados confiables. Por otra parte, quedaría tomar la decisión de cual potencia de la distancia tomar lo cual es un paso tan complejo como decisivo.

Una variante de este método podría ser considerar que la masa volumétrica por tipo de mena depende de las coordenadas geográficas y de los componentes Ni, Fe y Co y trabajar con la distancia euclidiana en el espacio  $R^3$ . Es evidente que a las últimas dificultades planteadas se le agregaría la complejidad y laboriosidad de los cálculos.

El último método que analizamos es el *estimación por kriging* a partir de un *análisis variográfico* considerando la variabilidad de la masa volumétrica en el contexto geométrico.

Las dificultades que se presentan en este caso están relacionadas, en primer lugar, con el hecho de no tener en cuenta las relaciones entre los valores de las componentes Ni, Fe y Co con la masa volumétrica.

En segundo lugar, tenemos que aunque las mediciones realizadas son regulares en el sentido vertical (cada 1 m), son muy irregulares en el sentido horizontal lo que se deduce de:

- La distancia entre ellas es como promedio de 1 553,53 m siendo su valor mínimo 46,669 m y su valor máximo es 3 795,84 m.

- Cuando analizamos una triangulación obtuvimos que el área según la frontera exterior convexa es de 6 669 061 m<sup>2</sup>, el número de triángulos es 78, el área del menor triángulo es de 1 650 m<sup>2</sup>, y el área del mayor triángulo es 665 100 m<sup>2</sup>. La media aritmética

de las áreas de los triángulos es 87 750,8 m<sup>2</sup> y su desviación standart 94 204,48 m<sup>2</sup>.

Esta irregularidad de la red, junto a las diferencias entre las distancias verticales y las distancias horizontales, dificultan de manera significativa el análisis variográfico.

En tercer lugar, al trabajar el análisis variográfico tridimensionalmente obtuvimos para un paso básico de  $h=379.6$  m, un modelo esférico sin efecto pepita, alcance de 380 m y meseta de 0.122. El cálculo del coeficiente IGF (*Indicative Goodness to Fit*, o sea *indicador de bondad de ajuste*, Pannatier (1994)), se realizó para todos los puntos del variograma experimental (0,0505) y para la primera mitad de estos puntos (0,007816) lo cual indica un buen ajuste. Al definir la zona de influencia nos decidimos por aceptar que el fenómeno es isotrópico y estacionario dentro de un elipsoide de radios horizontales de 1 100 m y de radio vertical de 12 m. Esto nos condujo a que el proceso de estimación posterior (kriging) no tuviera en cuenta las características del comportamiento de la masa volumétrica en el sentido vertical debido fundamentalmente a las oscilaciones de la topografía del terreno y a las irregularidades espaciales de las capas tecnológicas. Para resolver esto valoramos varias vías mediante artificios, estudios particulares y cálculos laboriosos para cada zona y capa tecnológica por lo que llegamos a la conclusión de que este método solo debemos utilizarlo en última instancia.

Considerando estas cinco razones proponemos una nueva metodología para la estimación de las masas volumétricas.

## RESULTADOS

### Descripción del nuevo método

Conociendo las coordenadas de un pozo de exploración  $P(X_p, Y_p)$  cuyos contenidos promedios de níquel, cobalto y hierro para la capa tecnológica  $t$  son respectivamente  $N_{it}$ ,  $Co_{it}$  y  $Fe_{it}$ , podemos estimar el valor de la masa volumétrica  $M_{it}$  para la capa tecnológica  $t$  del pozo  $P$  utilizando la siguiente metodología:

1. Triangulizar a partir de las coordenadas planas de la pared Norte (puede tomarse otra pared) del conjunto de pozos criollos conocidos, y determinar por esta pared cuales son los pozos  $A_i, B_i, C_i$  (donde los valores de  $N_{it}, Co_{it}, Fe_{it}$  y  $M_{it}$  son sus contenidos y masa volumétrica respectivamente para cada capa tecnológica  $t$ ) que forman un triángulo tal que el pozo de exploración  $P(X_p, Y_p)$  este situado en el interior o en la frontera del mismo ( recordemos que todos los pozos criollos del yacimiento se pueden determinar para cada una de sus paredes las coordenadas medias  $(X, Y)$  y los valores de los contenidos de Ni, Fe, Co y de masa volumétrica determinados para muestras tomadas en

profundidad a 1 m de distancia unas de otras). Considerando que existen varios métodos para triangulizar, proponemos que se use el de Delaunay, Manzanilla (1993), que satisface la propiedad del círculo donde se generan triángulos cuyos lados tienen diferencias pequeñas o sea tienden a ser equiláteros.

2. Se obtienen los puntos  $A_i, B_i, C_i$  cuyas coordenadas planas son las de la media de la pared opuesta a la que se tomó en el párrafo anterior y los valores de  $N_{it}, Co_{it}, Fe_{it}$  y  $M_{it}$  son sus contenidos y masa volumétrica respectivamente para cada capa tecnológica  $t$ .

3. A partir de los seis puntos  $A_i, B_i, C_i, A_j, B_j, C_j$  y sus valores respectivos de  $N_{it}, Co_{it}, Fe_{it}, M_{it}, N_{jt}, Co_{jt}, Fe_{jt}$  y  $M_{jt}$  para cada capa tecnológica  $t$ , se obtiene (resolviendo un sistema de ecuaciones lineales) para cada triángulo de vértices  $A, B$  y  $C$  la ecuación lineal:

$$M_t = a_0 + a_1x + a_2y + a_3N_i + a_4Co_i + a_5Fe_i$$

Donde:

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  : coeficientes reales.

A partir de la expresión anterior se pueden obtener las masas volumétricas  $M_{it}$  de las capas tecnológicas  $t$  de cualquier pozo de exploración  $P$  cuyas coordenadas  $X$  y  $Y$  se encuentren en el interior o en la frontera de un triángulo ABC.

4. Cuando no se pueda utilizar este método de estimación de la masa volumétrica, debido a que el pozo de exploración  $P(X_p, Y_p)$  no pertenezca a ninguno de los triángulos formados por los pozos criollos, entonces se propone estimar el valor de  $M_t$  en función de la masa volumétrica de los puntos más cercanos, para ello se utilizara el método del inverso del cuadrado de la distancia con la restricción de una zona de influencia circular que incluya no menos de 3 pozos criollos seleccionados entre los más cercanos.

## CONCLUSIONES

El método propuesto para el establecimiento de la masa volumétrica en los yacimientos lateríticos además de ser simple debido al uso de las computadoras, nos ofrece un resultado mucho más confiable que el método utilizado con anterioridad, pues prevé un valor de masa volumétrica para cada pozo de la red de ex-

ploración en cada una de sus capas tecnológicas teniendo en cuenta las relaciones entre los % de Ni, Fe y Co y la posición del pozo de exploración con respecto a los pozos criollos.

Estos resultados han sido programados y se han aplicado de manera experimental en la Subdirección de Minas de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa, Provincia Holguín.

Aún queda por resolver el problema de la confiabilidad de los valores de Ni, Fe y Co en los pozos de la red de exploración debido a que el método de obtención de muestras mediante barrenas de espiral presenta conocidas desventajas en la recuperación de las muestras. En un próximo trabajo se mostrará que el problema existe y propondremos una solución al mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- LEORA LOBAINA, A. ARISTIDES Y ALONSO M. PUENTES MARTIN: «Determinación de los volúmenes de sólidos de minerales útiles usando Spline Cúbico Natural», en *Revista Minería y Geología*, vol. XIII, no. 3, Moa, 1996.
- MALCON MINERALS AND METALS: «Results of the Geological Due Diligence Study carried out over the Las Camariocas Nickel Laterite Deposit at Moa, Eastern Cuba», Moa, January, 1997.
- MANZANILLA, RAUL: «Generación automática de triangulaciones de Delaunay», en *Métodos numéricos aplicados a la ingeniería*, Editor Miguel Cerrón, EDIT, Caracas, 1993.
- MIRANDA DOMÍNGUEZ, JOSÉ MIGUEL: «Estimación de la masa volumétrica para la red de exploración del yacimiento Punta Gorda», Trabajo de Diploma, Moa, 1998.
- PANNATIER, YVANE: «VarioWin 2.1», en *Phd Project*, University of Lausanne, Lausanne, Switzerland, 1994.
- POLANCO ALMANZA, RAMÓN G.: «Dirección de los flujos de mineral en los yacimientos lateríticos», tesis en Opción al Grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, 1996.
- RUIZ PEÑA, ELMER: «Propuesta para determinar el peso volumétrico de las menas ferromagnéticas en función de los contenidos de Fe y Ni», Reporte de Aplicación de Ciencias Técnicas, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Mayo de 1978.
- SERRANO COELLO, J.F.: «El peso volumétrico como función de los contenidos de yacimientos lateríticos de corteza de intemperismo», Informe técnico, Empresa René Ramos Latour de Nicro, Huguin, 1991.
- VERA YESTE A.: *Introducción a los yacimientos de níquel cubanos*, La Habana, Editorial ORBE, 1979. □