

COMPARACIÓN Y CONJUGACIÓN DE MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD EN LA INDUSTRIA DEL NIQUEL

Jorge Miranda López
Germán A. Álvarez
José R. Miranda González
Luis F. Desdín M.
Justino Mendoza Frómata

Centro de Investigaciones de la Laterita. Centro de Investigaciones y Proyectos de la Industria Minero Metalúrgica.
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear.
Empresa Comandante Ernesto Guevara

RESUMEN:

La aplicación del método de reflexión neutrónica (LAN-CIL) en la determinación de la humedad en las distintas menas de los yacimientos lateríticos, arrojó divergencias significativas con respecto al método tradicional de diferencias de pesada. Por este motivo se realizaron análisis termogravimétricos, los cuales revelaron la existencia de fenómenos de descomposición de fases de minerales que no habían sufrido tratamiento térmico previo. Este hallazgo justificó las divergencias encontradas en virtud de que el método de reflexión de neutrones es no destructivo e informa fielmente la presencia de agua total en las muestras, mientras que el convencional provoca alteraciones especialmente en la humedad. Ello obliga al perfeccionamiento del proceso de secado de los minerales en el laboratorio analítico. Se encontró además, que el proceso de secado en los hornos de la empresa Comandante "Ernesto Guevara" es excesivo y desvirtúa la interpretación del balance de masa entre la mina y el taller de preparación del mineral.

El estudio de las menas lateríticas siempre ha sido de gran importancia económica para el país debido a que los yacimientos de Moa son catalogados típicas lateritas altamente lixiviadas por los agentes de intemperismo.

Una cuestión de importancia es la determinación de la humedad del mineral dentro del perfil litológico y la composición mineralógica, factores que repercuten en el proceso de molienda y crean problemas tecnológicos en el industrial.

Gran importancia tiene la determinación precisa de los contenidos de metales valiosos en los minerales realizada en los laboratorios de control, por su repercusión económica.

Esta investigación se lleva a cabo como parte de un trabajo conjunto CIL-CEADEN, en el que se desarrolló un equipo, basado en el método neutrónico, para la determinación de la humedad en el mineral laterítico a la salida de los hornos de secado. Este método ha sido empleado en la determinación rápida y no destructiva, además de integrar un gran número de muestras. Fue introducido para la determinación de hidrógeno en el petróleo crudo, de cloro en polietileno clorado, betún en concreto asfáltico y agua en zeolitas naturales. Su principio físico está basado en

ABSTRACT:

The application of the neutronic method (LAN-CIL) in the works of moisture determination of different ores from the lateritic deposits in Moa brought about differences in reference to the conventional method of weight differences. For this reason thermogravimetric analyses were used which determined the existence of phases decomposition phenomena of some minerals which haven't suffered previous thermal treatment. This investigation made possible that those differences were solved up, because the neutrons reflexion method is able to determine the dilution phenomenon of the ore.

que la intensidad del flujo de neutrones lentos está determinada, fundamentalmente, por el contenido de hidrógeno presente en las muestras.

Este método fue corroborado para contenidos de humedad bajos del mineral laterítico, ya que su rapidez permite influir activamente en la marcha del proceso de secado.

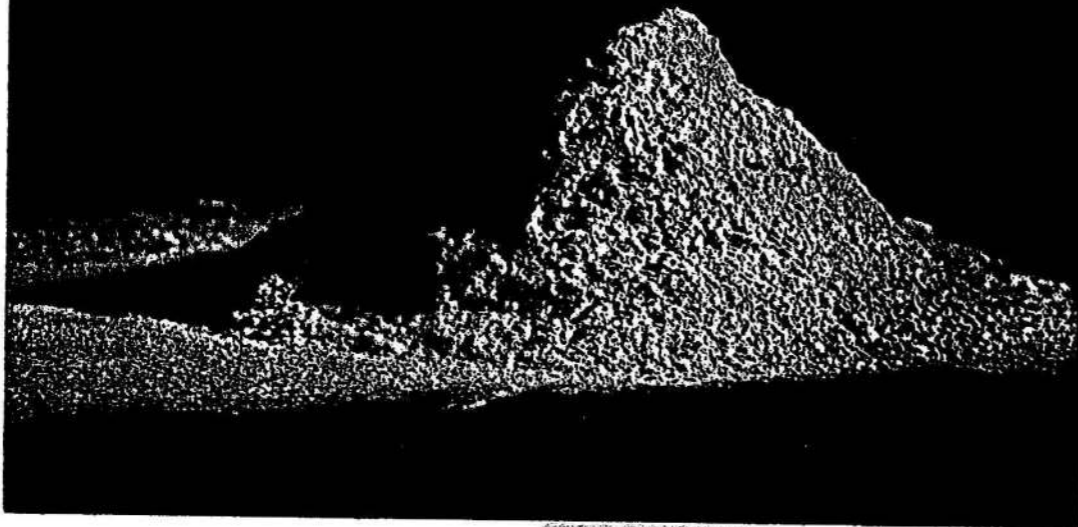
Estudios preliminares mostraron discrepancias en la determinación de la humedad para altos contenidos respecto al método convencional de diferencia de pesadas.

Paralelamente se llevó a cabo un estudio de análisis térmico, ya que esta técnica constituye una herramienta poderosa en las investigaciones contemporáneas dentro de la Mineralogía, la Geología, la Biología, así como la Industria Farmacéutica, del Cemento, Materiales de Construcción y Metalúrgica.

En la química-física del estado sólido estas técnicas son capaces de proporcionar información muy valiosa sobre transiciones de fases y reacciones en los materiales, además, se aplican al estudio de fenómenos muy diversos, tanto desde el punto de vista cualitativo como cuantitativo, obteniéndose información mediante el análisis termogravimétrico (ATG) o análisis termogravimétrico diferencial (ATGD), permitiendo ca-

MOA

La ciudad del níquel



Visítenos

caracterizar las muestras en un espectro variado de temperatura, descifrando así sus modificaciones (transiciones de fase).

MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de secado está caracterizado simultáneamente por una transferencia de calor y otra de masa. Como es conocido, si la superficie del mineral puede considerarse húmeda, la velocidad de secado estará afectada por la transferencia de calor y de masa en la superficie del mineral.

Las muestras seleccionadas fueron típicamente naturales, es decir sin tratamiento térmico previo, y considerando como una de las propiedades físicas más importantes en el proceso de secado el calor específico, ya que representa la magnitud de la transferencia de calor a través de la muestra durante este proceso, ver Tabla 1.

TABLA 1.

Minerales	W (%) ± 1,00	D.P (%) ± 0,7	C.E ± 0,05	Fe (%) ± 0,125	Ni (%) ± 0,095
Espesadores (limonita)	42,5	53,9	0,298	48,3	1,37
Serp. blanda	34,9	34,7	0,363	9,51	1,01
Mina Ecechg (mezcla)	33,2	38,0	0,301	45,6	1,31
CIL (mezcla)*	20,5	19,2	0,303	46,8	1,27
Planta pulpa (mezcla)	20,4	29,2	0,311	47,2	1,29
Serp. dura	13,1	13,7	0,279	32,3	0,79

W: Porcentaje de humedad determinado por el Método de Reflexión de Neutrones.

D.P: Porcentaje de humedad determinado por el Método de Diferencia de Pesada.

C.E: Calor específico.

*: Material sometido a la acción de los agentes de intemperismo.

La investigación de la cinética de deshidratación de los minerales lateríticos se realizó a través del análisis termogravimétrico, en una balanza Sartorius, utilizando el método de secado superficial con una lámpara infrarroja, siendo un aspecto importante la diferencia de comportamiento de cada una de las muestras con relación a su composición litológica.

Los parámetros empleados para el análisis de ATG fueron los siguientes:

- rango de temperatura: 26-155 °C;
- velocidad de calentamiento: 1,5 °C/min;
- pesada: 10 g de muestra;
- atmósfera del horno: aire dinámico.

Se muestrearon seis tipos de minerales:

- serpentina blanda (CIL) ver Figura 1;
- serpentina dura (CIL) ver Figura 2;
- mineral después de triturado en la planta de preparación de pulpa (PSA, Mezcla) ver Figura 3;
- mineral de alimentación a la planta piloto (CIL, Mezcla) ver Figura 4;
- mineral de la mina (ECECG, Mezcla) ver Figura 5;

- mineral de alimentación de espesadores (PSA, Limonita) ver Figura 6.

La investigación se realizó en dos etapas. La primera consistió en la determinación de la humedad por el método de reflexión de neutrones N , a muestras naturales.

$$N = \frac{1}{P} \cdot \frac{I - I_0}{I_0}$$

donde:

N : coeficiente de reflexión neutrónica.

P : densidad del material.

I : velocidad de conteo por minuto de la muestra húmeda.

I_0 : velocidad de conteo del fondo natural.

Utilizando una calibración previa por medio de ajuste lineal.

$$W\% = A \cdot N + B$$

donde:

A, B: coeficientes constantes.

W %: humedad en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la humedad por el método de reflexión de neutrones no coincidieron con los obtenidos por el método de diferencias de pesada. Esto ocurrió, siempre que el material analizado fue una mezcla de material limonítico y serpentínico o limonita sola.

Con el objetivo de encontrar las causas de la divergencia entre los resultados obtenidos se aplicó el análisis térmico. A través de éste se observa que donde hay mineral limonítico su deshidratación ocurre a muy bajas temperaturas con respecto a los demás minerales.

Quintana (1985) considera que el primer efecto ocurre a los 80 °C, otros autores (Mackenzie, 1957; Kulp y Trite, 1951) observan este efecto de deshidratación a temperaturas de aproximadamente 50 °C, Orozco (1977) lo observa a los 92 °C y Smykarsz-Kloss (1974) afirma que además del desorden reticular, la composición química de la goethita y la presencia de iones Al^{+3} en la estructura son las que hacen disminuir hasta 40 °C el punto de inflexión del primer efecto. En nuestro experimento ocurrió el mismo a los 78 °C.

Se observaron cambios en las pendientes de las curvas del ATG durante el proceso de calentamiento, característicos del perfil heterogéneo (mezclas). Con relación a los perfiles homogéneos no se advirtieron variaciones en las pendientes.

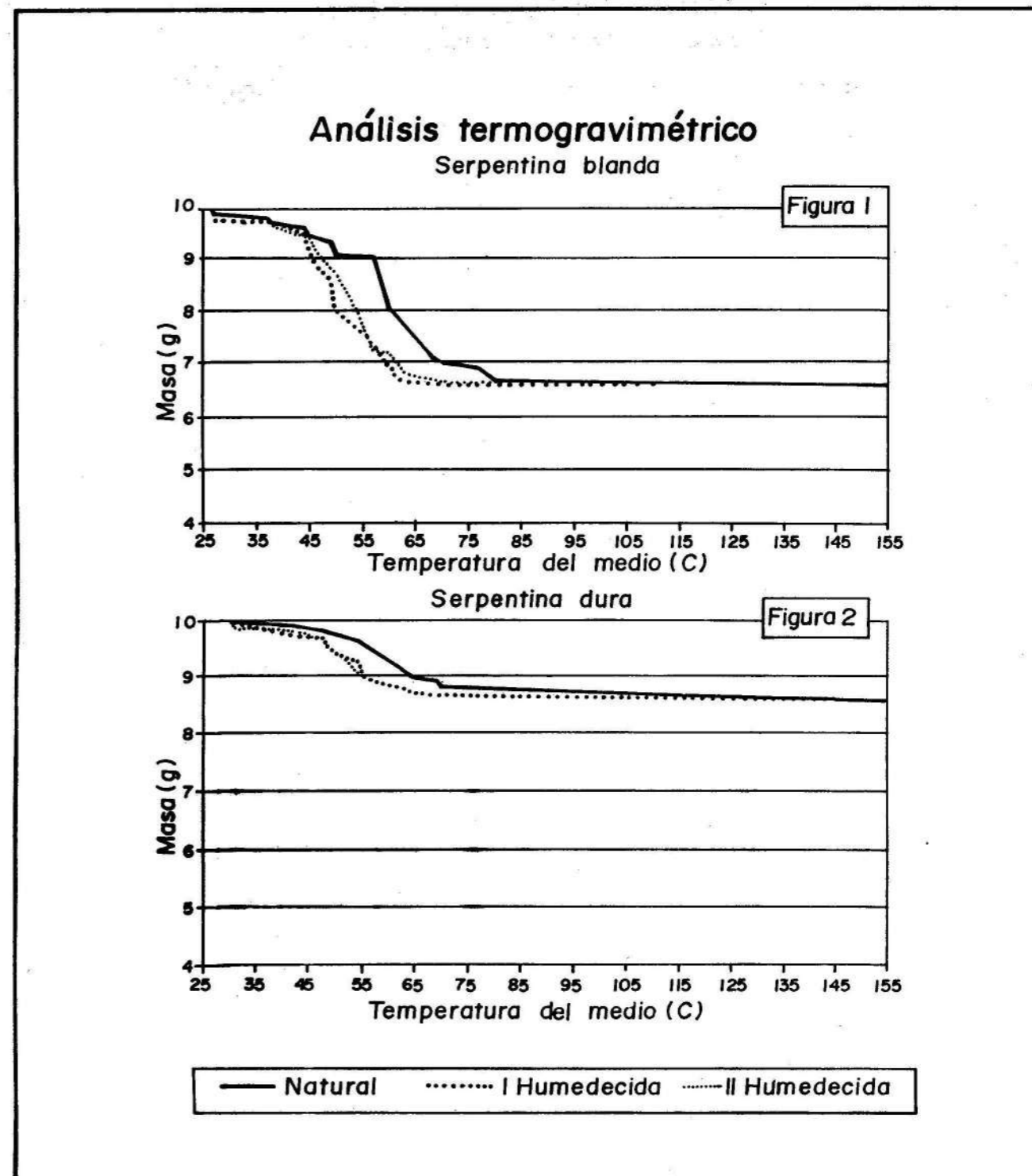
En los termogramas se obtuvieron dos etapas de deshidratación, la primera que corresponde al desprendimiento del agua de hidratación de la hidrogóethita a goethita y la segunda, cuando se escapa del agua de constitución de la goethita a hematita, observándose estos fenómenos en los casos de las mezclas a una temperatura superior a los 120 °C.

Por consiguiente se demuestra que el método de reflexión de neutrones es un método confiable en la

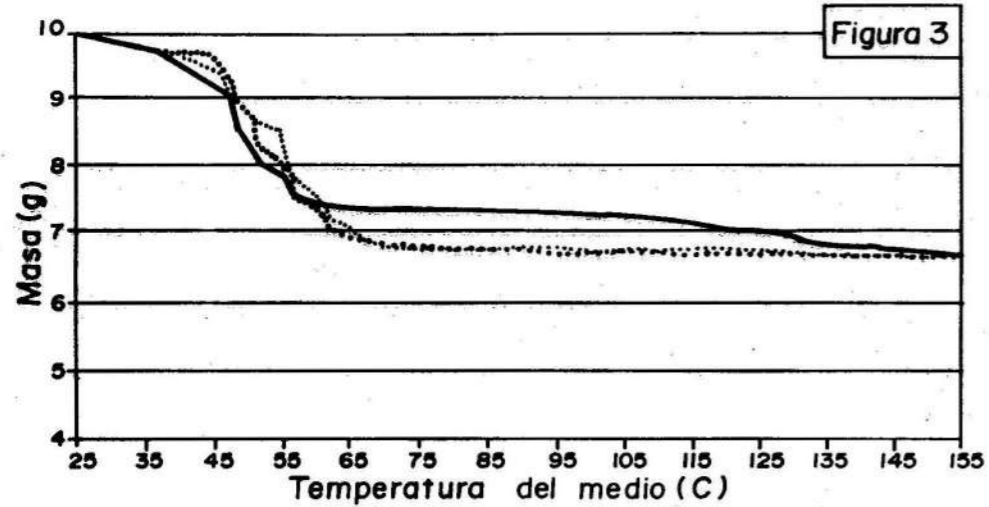
determinación de la humedad por su carácter no destructivo durante el análisis de los minerales, ya que el método convencional de diferencias de pesada falsea los resultados durante el proceso de secado al producir cambios de fases en determinados casos.

La segunda etapa de trabajo consistió en determinar el poder de humectación en estos minerales, es decir, la relación existente entre la pérdida de

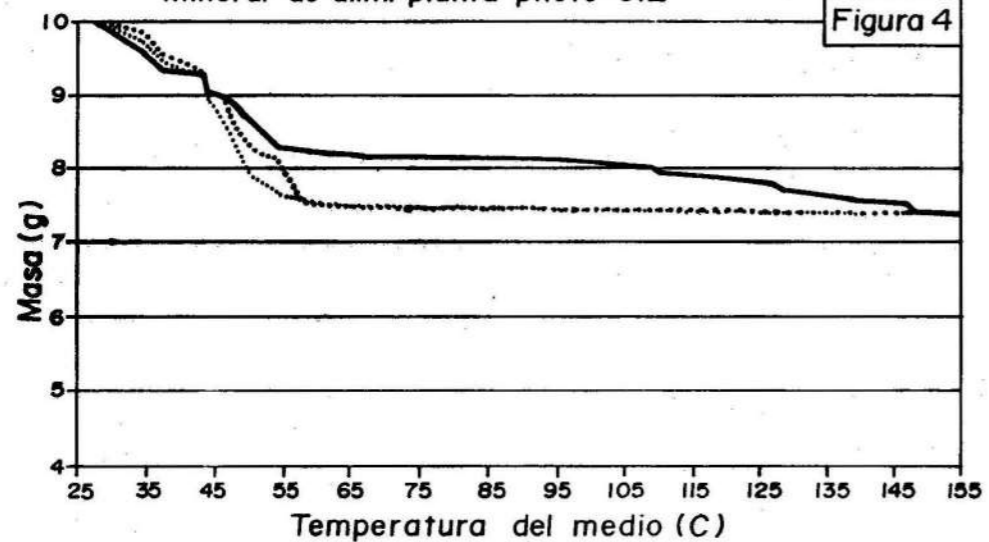
peso de la muestra natural durante su calentamiento, y la pérdida de peso de la misma, después de 24 horas de humedecida artificialmente. Este proceso se realizó dos veces, obteniéndose un fenómeno característico en el caso de fases homogéneas, consistente en que el proceso es puramente repetitivo, o sea, describe la misma curva (Figuras 1, 2 y 6). En caso de mezclas ocurre un fenómeno de histéresis (Figuras. 3, 4 y 5).



Análisis termogravimétrico Mineral de alim. planta pulpa (mezcla)

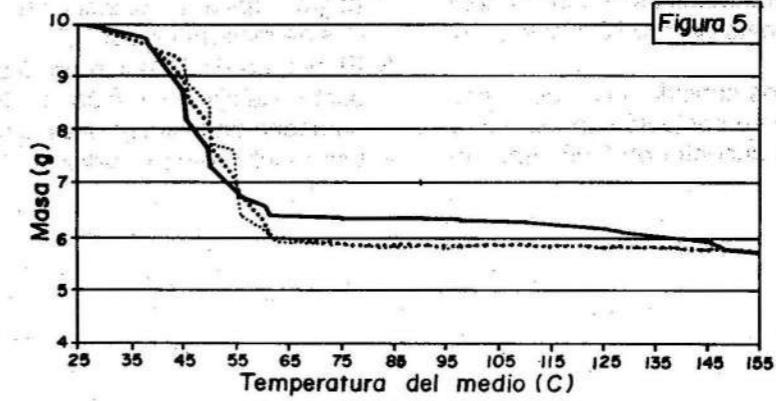


Mineral de alim. planta piloto CIL

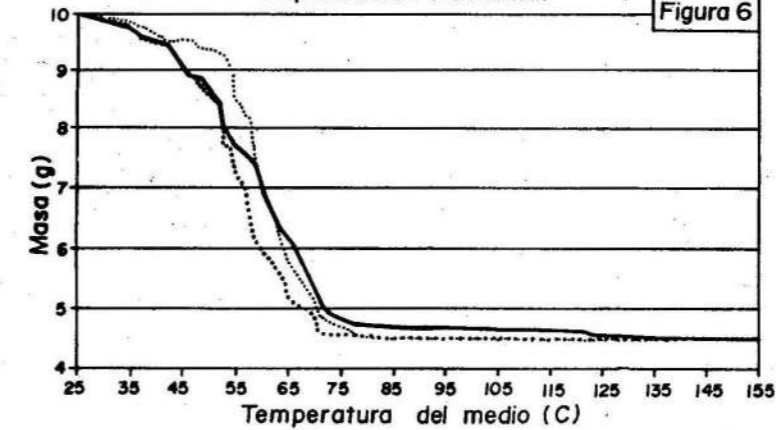


— Natural I Humedecida II Humedecida

Análisis termogravimétrico Mineral mina ECEG (mezcla)



Espesadores (limonita)



— Natural I Humedecida II Humedecida

Generalmente, los trabajos dedicados al análisis físico-químico de los suelos, toman como peso base para expresar los resultados por el método de diferencias de pesada, el peso del material desecado a una temperatura de 100 a 110 °C en las estufas de los laboratorios y refiriéndose a tierras finas, éstas se definen como el material que pasa a través de un tamiz de 9 mallas de agujeros redondos de 2 mm de diámetro.

Se encontraron discrepancias entre los resultados de los análisis de determinación de la composición química realizados a muestras testigos enviadas a diferentes laboratorios. Al estudiar el asunto se encontró que las discrepancias se debían, en primer lugar, al hecho de que el proceso de secado en cada laboratorio se realizaba dentro de intervalos de temperaturas, que aunque no eran muy amplios, permitían holguras capaces de arrojar divergencias inaceptables y en se-

gundo lugar, a que las estufas en cada laboratorio no garantizaban la igualdad necesaria de otras condiciones (agitación de las corrientes convectivas de aire, hermeticidad, volumen). En cambio, el rango de temperatura de los gases en los hornos de secado de la planta Comandante "Ernesto Guevara", oscila alrededor de 120 + 60 °C, en ocasiones asciende hasta los 200 °C y como consecuencia de estas variaciones de temperatura, los resultados de la humedad de salida del mineral (SM-4) reportados por el Laboratorio Central, en ocasiones no son reales, debido a que si la temperatura de los gases que calientan el mineral es inferior al secado realizado por el laboratorio, éstos no darán el valor verdadero de la humedad. En caso de que la temperatura sea superior, entonces los resultados sí coinciden, ya que su estructura ha sido modificada y el agua higroscópica absorbida del medio es desprendida con mayor facilidad.

La tercera etapa consistió en el estudio estadístico de diferentes perfiles de temperatura, por turnos, según los reportes diarios del Taller de Preparación del Mineral, comprendidos entre los años 1991-1994 con el fin de corroborar un segundo efecto endotérmico obtenido por ATG, el cual fue encontrado también por especialistas en esta técnica del Laboratorio de la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.

De 265 turnos que esta planta cumplió al 100 % de eficiencia operativa, en 200 de éstos el perfil de temperatura se encontró por debajo de 120 °C y sólo en 65 por encima.

Estos resultados los consideramos de interés para los tecnólogos, ya que se contactó con los operadores de esta planta y ellos encontraron fenómenos de variación en la temperatura que no dependen del tonelaje alimentado, lo cual parece relacionarse con la composición mineralógica, aunque no se puede afirmar categóricamente debido a que en la muestra SM-4 no se incluye en los reportes diarios la composición de la sílice, magnesio y la alúmina. La presencia de ácido carbónico en el agua de lluvia transporta y lixivia el magnesio, la sílice y parte del níquel, que en este proceso son redepositados como compuestos eflorescentes, es decir, además de perder el agua higroscópica pierden el agua de cristalización (limonita), convirtiéndose en sustancias pulverulentas que son redepositadas a lo largo de la red microfisural de estos minerales durante el proceso de secado, haciendo desempeñar al material serpentinitico el papel de mineral retenedor y en consecuencia se reduce el extractable de los metales de interés: níquel y cobalto.

Las principales fases descompuestas durante el secado por encima de 120 °C del mineral laterítico son:

- Ferralitas (lateritas)

FeO(OH)	-----	Fe ₂ O ₃
Goethita		Hematita
- Bauxitas

Al(OH) ₃	-----	AlO(OH)
Gibbsita		Bohemita

Uno de los problemas actuales de la empresa "Ernesto Guevara" es el fenómeno denominado dilución del mineral debido a las diferencias en la composición química de las muestras de referencia SM-2 y SM-8. Esto se debe a la existencia de diferentes criterios de secado, lo que trae consigo la destrucción de las fases en las muestras de referencia SM-2 (mineral de alimentación a secadero a 128 °C) contra el mineral SM-8 (mineral de entrada a molienda a 105 °C) impidiendo un correcto balance de masa entre la mina y la planta de preparación del mineral.

CONCLUSIONES

- La presencia de altos contenidos de SiO₂ contribuye a la conservación de la capacidad de retención de los diferentes tipos de agua presente en los minerales.
- La conservación de la estructura cristalina durante el proceso de secado explica la conservación de la capacidad de retención del agua en las serpentinas.

- Se encontró que el proceso denominado actualmente de secado a temperaturas mayores de 120 °C es realmente más complejo y consiste en un proceso de secado más la descomposición de las fases (hidrogoethita-goethita-hematita y gibbsita-bohemita).
- El proceso de secado excesivo falsea los resultados del balance de masa del mineral entregado por la mina a la planta de preparación del mineral (proceso de dilución), debido a que grandes pérdidas de agua (higroscópica + constitución) se toman como pérdidas de mineral valioso.
- El método de reflexión de neutrones se ha ratificado como efectivo y rápido en la determinación de la humedad en los minerales lateríticos.
- Los resultados obtenidos en la determinación de los calores específicos de los minerales lateríticos, coincidieron con los resultados de la literatura especializada, permitiendo una mejor comprensión del proceso de transferencia de calor a través de estos minerales.
- El alto porcentaje de material serpentinitico provoca pérdidas de níquel que son producidas por la lixiviación y transportación del agua de lluvia, que en el proceso de secado se convierten en sustancias pulverulentas redepositadas a lo largo de la red microfisural de estos minerales, desempeñando así, el material serpentinitico, la función de mineral retenedor por excelencia.
- Existen diferencias significativas en las condiciones de secado de los minerales en los laboratorios analíticos, que provocan divergencias inadmisibles al determinar su composición química.

BIBLIOGRAFÍA

- AIDAROV, I.P. y A.I. GOLOVANOV: *El riego*, Ed. Mir, Moscú, 1982.
- DESDIN, L. et al.: "Fundamentación científico-técnica y técnico-económica de la introducción del método de reflexión de neutrones en la medición de la humedad en los hornos de secado en la empresa Ernesto Guevara", CEADEN, C. Habana, 1992.
- : "Determinación de la humedad en el mineral laterítico por el método de reflexión de neutrones", Evento Internacional MINIMETAL-91, C. Habana, 1991.
- FISHER, B.R. and M.W. DREDELL: *The Nicaro (Cuba) nickel ore basic analysis in controlled atmospheres*. United States Department of the Interior, 1959.
- GONZÁLEZ ARIAS, A.: *Análisis térmico diferencial y otras técnicas termoanalíticas*, Ed. Científico-Técnica, La Habana, 1985.
- GRAN, M.F.: *Elementos de física general y experimental*, Tomo I. Instituto del Libro, La Habana, 1968.
- HERNÁNDEZ ESTRADA, S. et al.: *Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel*, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1974.
- JACKSON, A.: *Análisis químico de los suelos*, Ed. Mir, Moscú, 1970.
- MACKENZIE, R.C.: "Differential thermal investigation of clay", Society Mineralogical London, 1957.
- MJAILOV, L.: *Hidrogeología*, Ed. Mir, Moscú, 1985.
- QUINTANA PUCHOL, R.: "Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa. Análisis físico-mineralógico", *Rev. Minería y Geología*, 1985.
- SMYKARZ-KLOSS, W.: "Differential thermal analysis application and results in Mineralogy", *Minerals and Rocks*, vol. II, Springer Verlag, Berlín, 1974.
- TRITE, F.A.: "DTA of natural hydrous ferric oxides", *Amer. Miner.*, 1951.

EVALUACIÓN INGENIERO-GEOLOGICA DE LAS AREAS CON PELIGROS Y RIESGOS GEOAMBIENTALES DE LA CIUDAD DE MOA

Dr. Rafael Guardado Lacaba
Ing. José Carmenate Fernández

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

Se ofrece la evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas ante los problemas ambientales que el desarrollo genera, tomando en cuenta el notable crecimiento demográfico, industrial, minero-metalúrgico y urbano, de la ciudad de Moa. Se caracteriza el perfil ingeniero-geológico de los suelos del territorio de acuerdo a los principales parámetros que definen su estado físico, así como las propiedades mecánicas de ellos. Se confeccionan mapas ingeniero-geológicos y de regionalización, los cuales permiten una correcta evaluación del terreno y una mejor dirección del desarrollo de la ciudad.

ABSTRACT:

An evaluation of ingenier-geological conditions in Moa city is done taking in account the environmental problems that the development generates. Soils engineer-geological profile is characterised according to principal parameters which defines its physical state and mechanical properties. A correct land-planning is reached throught ingenier-geological and regionalization maps.

En 1990 se inició el decenio internacional proclamado por la ONU para la reducción de los desastres naturales en el planeta. Este trabajo se inscribe con este espíritu y contribuirá a la solución en principio de estos problemas.

Moa es el municipio más oriental de la provincia de Holguín. La ciudad, incluyendo las áreas industriales y mineras, está asentada sobre una potente corteza de intemperismo de lateritas ferruginosas, sometidas a constantes cambios en sus condiciones geotécnicas y geodinámicas.

Las tareas de planeamiento regional en este territorio implican un racional empleo del terreno y mejor aprovechamiento de los recursos naturales y del geambiente. La planificación física o planeamiento regional en Moa no debe limitarse al entorno de la ciudad, el transporte, las industrias, las escuelas, la universidad, etc. Todos los recursos que afectan a la economía del territorio integralmente deben ser balanceados, incluyendo la explotación minera y el desarrollo industrial metalúrgico, ver Figura 1.

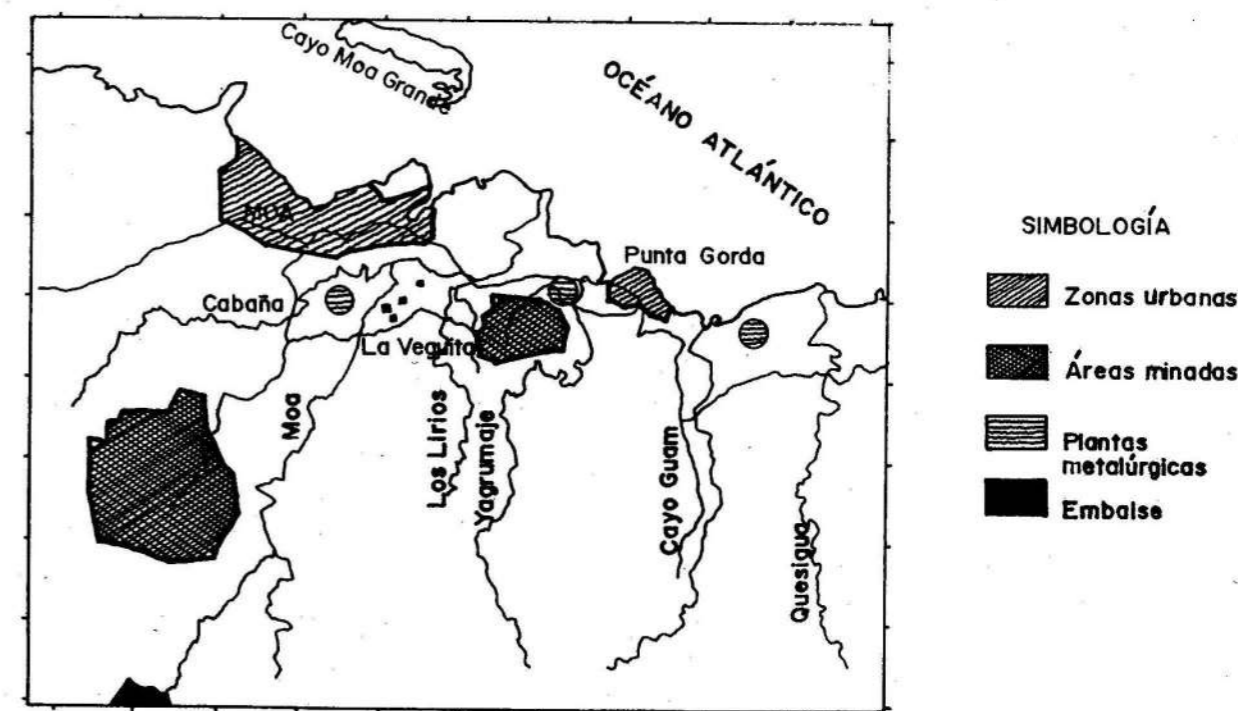


FIGURA 1. Plan director de Moa.