

CDU : 622.7.097/0977.622 : 730/750.553.2 (729,1)

ESTUDIO DE LA PULPA CRUDA DEL MINERAL LATERITICO DEL YACIMIENTO MOA: ANALISIS FISICO-MINERALOGICO

Ing. Rafael Quintana Puchol, Candidato en Ciencias, Universidad Central de Las Villas

RESUMEN

Se realizó en el presente trabajo, el análisis físico-mineralógico de las fracciones dispersas (< 37 µm), de la pulpa cruda del mineral laterítico, mediante las técnicas de difracción de rayos-X y análisis térmico. Además, se llevó a cabo una caracterización de los minerales de óxido de Fe, Al, Mn y Cr, que son los más abundantes en la pulpa.

Se ha generalizado bastante el criterio de que la composición mineralógica de la pulpa laterítica que llega a los espesadores desempeña un papel importante en las causas que provocan las fluctuaciones del por ciento de sólido en la pulpa para lixiviar.

El objetivo fundamental de este trabajo es brindar un análisis físico-mineralógico de las diferentes fracciones granulométricas de la parte dispersa (< 37 µm), la cual constituye más del 80% de la masa de la pulpa cruda.

La caracterización roentgenográfica y térmica del componente fundamental de la pulpa cruda (goethita-hidrogoethita), así como también de otros minerales presentes, brinda elementos complementarios de interés en la búsqueda de las causas que no permiten alcanzar los porcentajes idóneos de sólido en la pulpa para lixiviar.

MATERIALES Y METODOS

De la parte dispersa de la pulpa cruda existen en las muestras industriales representativas de las zonas Atlanta y Yamanigüey se estudiaron las fracciones granulométricas de 1 µm, 5-10 µm y 10-37 µm, obtenidas por el método de levigación [15]. Todas las fracciones granulométricas fueron secadas a 60°C cuidadosamente trituradas y "pasadas" por un tamiz de 200 mesh con el objetivo de minimizar los efectos de grano y de compactación en las técnicas empleadas [15].

ABSTRACT

A mineralogical phase analysis of the dispersed fraction (< 37 µm) of the lateritic mineral pulp was made, using X-ray diffraction techniques and thermic analysis. A characterization of the most abundant minerals of Fe, Al, Mn and Cr oxides, in the lateritic mineral pulp was also made.

El análisis roentgenométrico de fases se efectuó en un goniómetro HZG-3 acoplado a un generador de alto voltaje TUR-M62 y al sistema de amplificación y registro VA-V100 y VA-G140, respectivamente. El portamuestra de polvos se construyó de plexiglás amorfo a la radiación, y sus dimensiones son de 60 x 15 x 1,5 mm. Los parámetros del registro roentgenográfico son los siguientes:

Radiación: FeK α
 Diafragma de divergencia: 1,0 mm
 Diafragma del tubo contador: 0,5 mm
 Velocidad del goniómetro: 30°/min
 Rango de medida: 1,8 x 10³ imp./min
 Velocidad del papel: 360 mm/h
 Error de oscilación: 1%
 Error de reproducibilidad angular: 0,015

El análisis térmico de las fracciones granulométricas se efectuó en un derivatógrafo húngaro tipo MON213 (sistema Paulick-Paulick-Erdey). Los parámetros empleados son los siguientes para ATD y TG:

Rango de temperatura: 30°C hasta 1 000°C
 Velocidad de calentamiento: 5°C/min
 Pesada: 800 mg de Al₂O₃ precalentada a 1 000°C
 Condiciones de registro: ATD = 1:5
 TG = 200 mg
 Crisol: φ = 12,5 mm: ancho de las paredes 0,5 mm para registro indirecto de la temperatura
 Atmósfera del horno: aire estático

RESULTADOS Y DISCUSION

La fracción < 1 µm constituye aproximadamente el 56-75% de la fracción dispersa (< 37 µm) y el 37-48% de la pulpa cruda total, por lo que su contribución en la composición mineralógica de la pulpa es fundamental.

Fracción 1 µm (oxihidróxidos de hierro)
 Ponce, Saunis [13], Carlson, Simons [5] y Shirokova [19], entre otros reportan que los minerales de hierro son los componentes principales de las menas industrialmente útiles para la obtención del níquel, y que la goethita constituye aproxima-

damente el 70%, sin embargo, en los trabajos mencionados no existe un estudio detallado de este mineral tan abundante, y posiblemente portador fundamental del níquel.

En los roentgenogramas de la fracción < 1 µm se destacan, sobre todo, los reflejos característicos de la goethita (α - FeOOH), cuyos valores de D (Å) coinciden aceptablemente con los reportados por Brown [4] y Mijeev [11]. Sin embargo, las intensidades relativas I_i/I (110) así como su distribución, en algunos reflejos presentan diferencias sustanciales (Figura 1). Los reflejos que más se diferencian por la magnitud de sus intensidades se presentan en la Tabla 1.

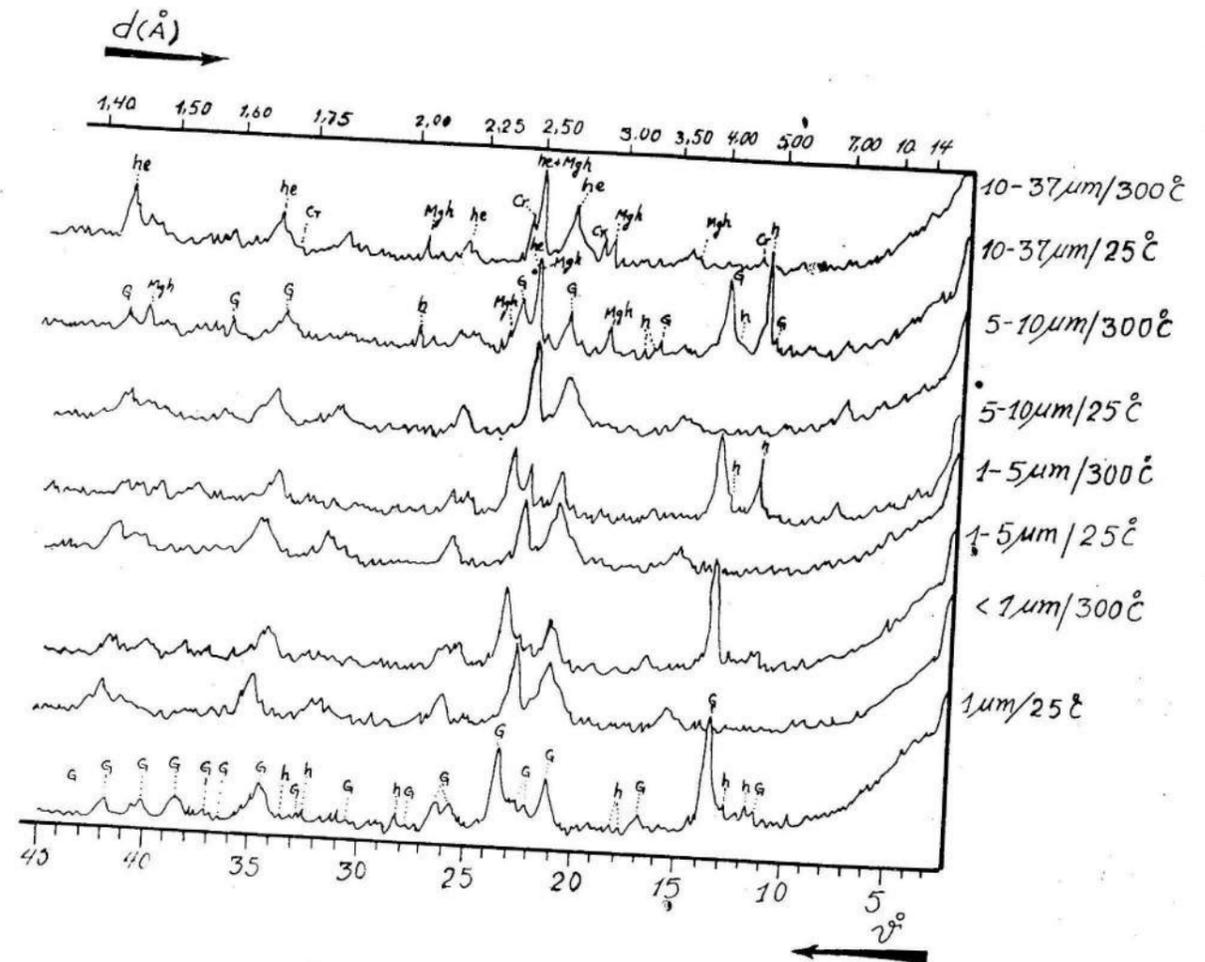


Fig. 1 Roentgenogramas de las diferentes fracciones granulométricas tratadas térmicamente a 25 y 300° C.

G - goethita; he = hematita; h = hidrargilita; Mgh = maghemita; Mg = magnetita; Cr = cromita.

TABLA 1. Comparación de valores de $d(\text{\AA})$ y de $I_i/I(110)$ de los reflejos más intensos de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ con los de los minerales de óxido de hierro reportados por Brown [4] y Mijeev [11] B-reflejo ancho, tipo banda He-hematita. Hid-he: hidrohematita.

Fracción $< 1 \mu\text{m}$ Brown (1972)		Mijeev (1957)-310		He:Brown (1972)		
Goethita		Hidrogoethita		Hid-he: Mijeev (1957)-288		
$d(\text{\AA})$	$I_i/I(110)$	$d(\text{\AA})$	$I_i/I(110)$	$d(\text{\AA})$	$I_i/I(110)$	
2,68	48	2,69	30	2,69	80	He (100), Hid-he (40)
2,57	15	2,58	8	2,58	30	Hid-he (100)
2,433	69	2,45	25	2,45	100	
2,240	20B	2,25	10	2,253	40	
1,191	25	2,19	20	2,189	60	He (25)
1,721	30B	1,721	20	1,719	8	
1,696	25	1,692	10	1,692	20	He (45)
1,558	20B	1,564	10	1,564	60	
1,506	15B	1,500	10	1,510	40	
1,452	15B	1,453	10	1,454	40	He (10)

Las alteraciones en la magnitud de la intensidad de los reflejos de la fracción $< 1 \mu\text{m}$, comparados en la Tabla 1 se deben, primeramente, a la existencia de cantidades apreciables de hidrogoethita en la fracción investigada y en segundo lugar, a la presencia de hematita de cristalitas muy finas. Ambos minerales y también la goethita, presentan probablemente desorden reticular debido, entre otras cosas, a sustituciones isomórficas reticulares de Fe^{3+} por Al^{3+} fundamentalmente y en menor grado de Fe^{3+} por Ni^{2+} y Mn^{2+} .

El contenido estimado de hidrogoethita es varias veces superior al de hematita, siendo la distribución másica de ambos minerales en la fracción levemente superior a la cuarta parte del contenido de la goethita. Es muy probable que la hematita presente además cierta cantidad de agua adherida a los finísimos cristales por fuerzas "residuales" del tipo Van der Waal, formando en parte una masa coloriforma criptogranular. También hay que considerar la posible existencia de cantidades apreciables de óxidos de hierro amorfos independientes y (o) que constituyen la parte fundamental del grado de desorden atribuido a los óxidos de hierro anteriormente señalados. La diferenciación y la determinación cuantitativa de estos dos aspectos (grado de desorden y amorfismo) es en extremo difícil de determinar directamente sólo por difracción de rayos-X. Una posibilidad de determinación de estos efectos la brinda la conjugación de la difracción de rayos-X con las espectroscopias de Mossbauer e infrarroja a diferentes temperaturas.

Betejtin [2] y Hurlbut [8], entre otros autores, señalan en sus trabajos que la lepidocrosita ($\gamma - \text{FeOOH}$) es un mineral que comúnmente acompaña a las menas de goethita. En nuestro caso no podemos afirmar categóricamente la existencia de $\gamma - \text{FeOOH}$ en la fracción $< 1 \mu\text{m}$ a partir de los datos de los roentgenogramas. Aunque se observa un reflejo ancho, débil y reproducible a $6,27 \text{\AA}$, el cual se puede atribuir al reflejo más intenso de la lepidocrosita, correspondiente al plano reticular (020), el cual está parcialmente enmascarado por los reflejos del mineral "serpentinico". Al ser calentada la muestra a 300°C se convierte este reflejo en un reflejo mucho más estrecho y menos intenso, lo que presupone la transformación de $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$. Para determinar con mayor precisión los minerales presentes en la fracción $< 1 \mu\text{m}$ se sometió esta a un tratamiento térmico de diferentes temperaturas: $150, 300, 400$ y $1\ 000^\circ\text{C}$ durante una hora (Figura 2).

Brown [4], Mackenzie [10], Schultz [17] y Brindley [3] coinciden en que la goethita empieza a destruirse a los 250°C y que durante una hora a 300°C la destrucción es casi total, transformándose lentamente en hematita. Al calentar la fracción $< 1 \mu\text{m}$ a 300°C durante una hora desaparecen casi completamente los reflejos de los planos (020) y (110) de la goethita, cuyos valores de $d(\text{\AA})$ son $4,98 \text{\AA}$ (14) y $4,17 \text{\AA}$ (100), lo cual indica la eliminación de la fase goethítica en la muestra, demostrando así su existencia.

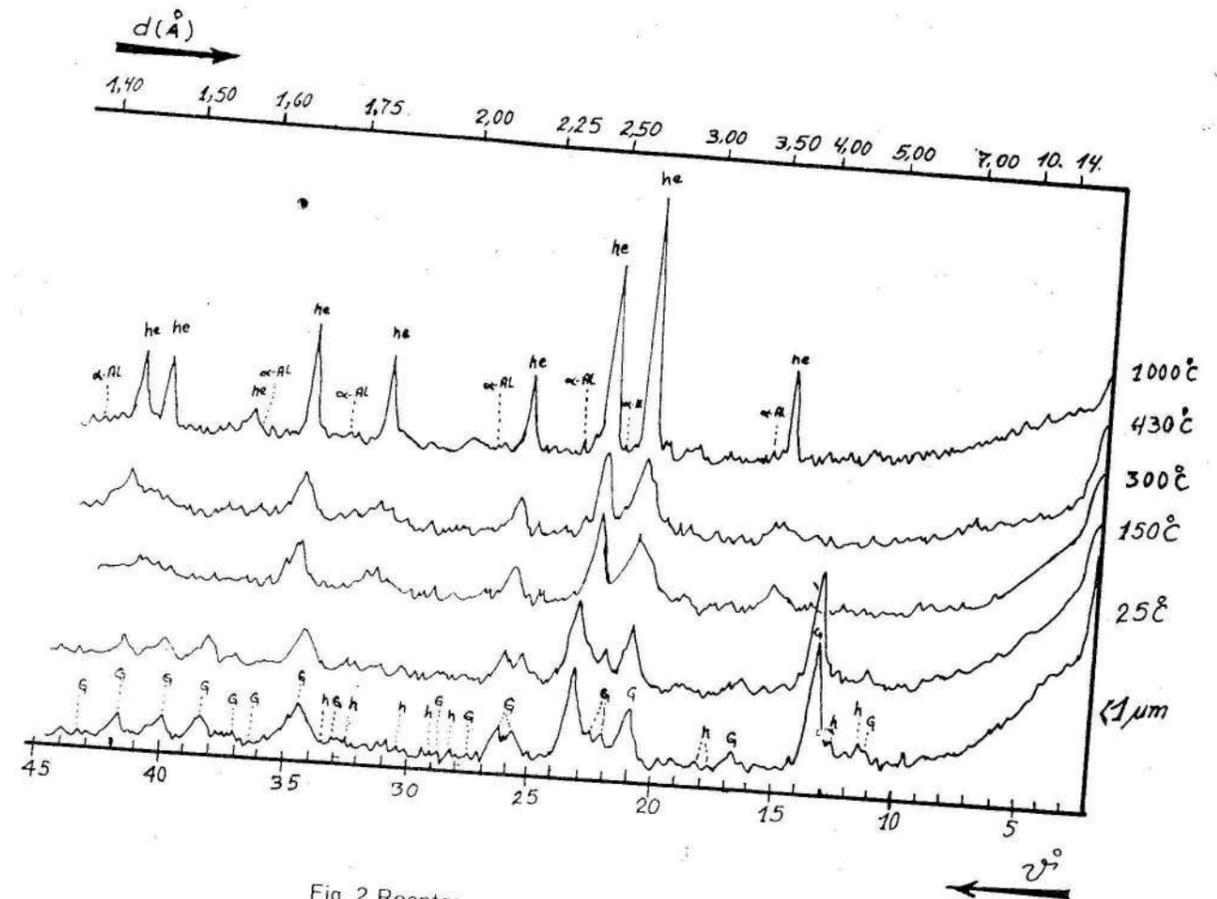


Fig. 2 Roentgenogramas obtenidos de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ tratada térmicamente a $150, 300, 430$ y $1\ 000^\circ\text{C}$.

A la temperatura de 300°C se observa un sustancial incremento de la intensidad de los reflejos débiles con el valor de $d(\text{\AA})$ de $6,98; 5,83; 2,80; 1,55 \text{\AA}$ y en especial del reflejo de intensidad media a $2,949 \text{\AA}$, a los cuales se les puede atribuir la presencia de $\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$. Una parte de la maghemita se puede considerar formada por la transformación de $\gamma - \text{FeOOH}$. Al ser calentada esta fracción a 450°C se observa la disminución de la intensidad de estos reflejos, incluso la desaparición de algunos de ellos, lo cual corrobora lo indicado por Brown [4] sobre la transformación de maghemita en hematita a 400°C . En el roentgenograma de la fracción $< 1 \mu\text{m}$ tratada a 450°C se observan diferentes bandas: una banda a $2,677 \text{\AA}$ y otras de intensidad media a $3,634; 2,1963$ y $1,6887 \text{\AA}$, que indican la presencia de hematita, la cual se ha obtenido principalmente a costa de la transformación de la goethita e hidrogoethita. La inversión de la intensidad máxima de los reflejos a $2,501 \text{\AA}$ (como el más intenso) y a $2,652 \text{\AA}$ es solamente aparente, si no se considera la intensidad integral de ambos reflejos. La no consideración de la intensidad integral conllevaría a una conclusión errónea de la existencia de una cantidad mucho mayor de maghemita, obtenida de la transformación térmica de $\gamma - \text{FeOOH}$.

La aseveración diáfana por difracción de rayos-X de una diferenciación entre magnetita y maghemita en la fracción dispersa $< 1 \mu\text{m}$, así como, en menor grado, en cada una de las restantes fracciones granulométricas ($< 37 \mu\text{m}$) se dificulta por el grado de desorden reticular que presenta la goethita e hidrogoethita y adicionalmente por la presencia de minerales serpentínicos e hidrargilita que enmascaran parcial o totalmente los reflejos más intensos de estos minerales. En general, de los resultados de la difracción de rayos-X se puede asegurar, en un grado alto de confiabilidad, que los minerales de hierro que componen la fracción $< 1 \mu\text{m}$ son, en orden descendente de importancia, los siguientes:

Mineral	Apreciación
goethita	++++
hidrogoethita	++
hematita	+
maghemita	+
lepidocrosita	+

RESTANTES OXIHIDROXIDOS DE Al, Mn Y ESPINELAS DE Cr

Hidrargilita (gibbsita)

La hidrargilita se identifica mediante los siguientes reflejos más intensos: 4,88(100); 4,36(30); 3,31(10); 2,38(20) y 2,042Å(15). Los valores de d(Å) y de las intensidades relativas de estos reflejos concuerdan aceptablemente con los reportados por Brown [4]. Los reflejos 3,31 y 2,45 Å no se pueden tomar como criterio de identificación de gran fuerza para las fracciones más gruesas, debido a que estos coinciden con los reflejos (101) y (1109) del cuarzo. Un criterio de alto valor diagnóstico para la identificación de la hidrargilita en la fracción < 1 µm es su comportamiento roentgenográfico al ser tratada la muestra de polvo térmicamente a 300°C y a 1 000°C durante 1 hora. Después del tratamiento a 300°C se observó la extinción de todos los reflejos que determinaban la fase hidrargilitica, lo que demuestra inequívocamente la existencia de este mineral en la fracción. A 1 000°C se determinó la presencia de α-Al₂O₃, lo cual reafirma la presencia de oxihidróxidos de Al en la fracción y por lo tanto la existencia de hidrargilita (Figura 2). El contenido de hidrargilita es aproximadamente de 5% y aumenta en el sentido del incremento del tamaño del grano en las fracciones granulométricas estudiadas.

Minerales de Mn y Cr

Partiendo de la existencia de cantidades apreciables de Cr (1 - 4%) y de Mn (0,6 - 2,5%) determinados mediante análisis químicos, y de fluorescencias de rayos-X en las diferentes fracciones granulométricas, se trató de precisar mediante la fracción de rayos-X qué especies minerales constituyen estos elementos. Las cantidades relativamente pequeñas en que se encuentran cada uno de estos minerales de Mn y Cr en la fracción dispersa de la pulpa, que en ocasiones están cercanas al límite de detección del método de difracción por rayos-X y teniendo también como inconveniente la presencia de altos contenidos de oxihidróxidos de Fe y Al, imposibilitan determinar con aceptable grado de confiabilidad todas las fases mineralógicas de estos elementos en las fracciones granulométricas temperizadas. En el rango de temperaturas entre 300 y 1 000°C ocurren las transformaciones de todos los óxidos de Fe y Al a hematita y corindo, respectivamente, por lo cual se reduce gradualmente el número de reflejos interferentes y posibilitan la deducción de qué especies minerales de óxidos de Mn y Cr se encuentran originalmente presentes en la fase dispersa de la pulpa.

De la observación detallada de los roentgenogramas de las fracciones granulométricas calentadas a 1 000°C se detectaron reflejos reproducibles de poca intensidad en los rangos espectrales de: 4,90 - 3,90 Å; 3,77 - 3,50 Å; 2,60 - 2,10 Å; 1,99 - 1,86 Å; 1,66 - 1,49 Å y 1,46 - 1,34 Å (ver Figura 3).

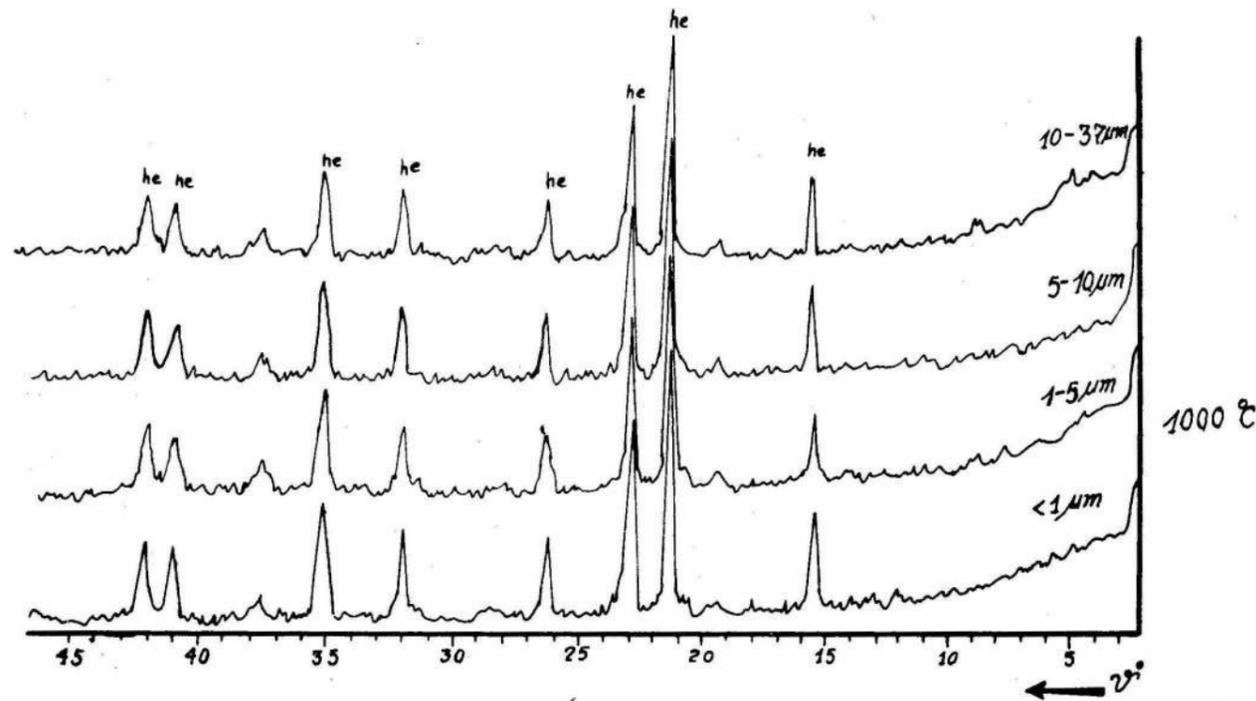


Fig. 3 Roentgenogramas de las diferentes fracciones granulométricas tratadas térmicamente a 1 000°C.

En la Tabla 2 se exponen los reflejos más consistentes en sus parámetros de d(Å) e I_i/I_a de las fracciones granulométricas temperizadas, designándoles a las fases los minerales correspondientes de óxidos de manganeso y cromo. Las fases mineralógicas mejor definidas son: braunita (Mn₂O₃), pirolusita (MnO₂) y hausmanita (Mn₃O₄). La braunita y la pirolusita son los minerales más importantes en todas las fracciones granulométricas, incrementándose sus contenidos en el mismo sentido que aumenta el tamaño del grano de la fracción. El predominio de las fases Mn₂O₃ y MnO₂ en las muestras temperizadas hace suponer la existencia predominante de psilomelano en las muestras sin temperizar, pero no hay que descartar la posibilidad de existencia de pirolusita en las fracciones granulométricas originales sin ningún tipo de tratamiento.

En las muestras calentadas a 1 000°C se observa la presencia de reflejos bien definidos con valores de d(Å) de 4,823; 4,645; 2,431; 2,065; 2,0131 y

1,419 Å, que indican la existencia de minerales miembros de la serie cromita-crompicotita, con predominio del último en todas las fracciones granulométricas dispersas, y cuyo contenido se incrementa en el sentido que el tamaño del grano de la fracción aumenta (Figura 3).

Otros minerales

En estudios anteriores sobre la corteza de intemperismo, se ha descrito la presencia de elisabentinskita (Zinchenko y Quintana Puchol [21], Díaz Estrada [7] y Cordeiro [6]). En los roentgenogramas se observan los reflejos a 9,69; 4,755; 4,430 y 2,353 Å, los cuales caracterizan a un mineral perteneciente a la serie stainerita-elisabentinskita, con predominio del último miembro de la serie.

También están presentes los reflejos más intensos de la ilmenita, que vienen expresados por los valores de d(Å): 3,732; 2,736; 2,247; 1,873 y 1,7193 Å.

TABLA 2 Valores de d(Å) obtenidos de los roentgenogramas de las diferentes fracciones granulométricas (1- 37 µm) temperizadas a 1 000°C. Cr. = cromita; Crp. = crompicotita; St. = stainerita; elis. = elisabentinskita.

Valores d(Å)	Minerales
9,69	St.-elis.
4,803	Crp.
4,770	St.-elis.
4,645	Cr.
4,430	St.-elis.
3,431	Mn ₂ O ₃
3,113	MnO ₂
3,086	Mn ₂ O ₃ , Mn ₃ O ₄
2,471	Crp.
2,446	Mn ₂ O ₃
2,409	MnO ₂
2,353	St.-elis.
2,328	Mn ₂ O ₃ , Mn ₃ O ₄
2,121	Mn ₂ O ₃
2,115(?)	MnO ₂
2,069B	Crp.
1,852	Cr.
1,655	Mn ₂ O ₃
1,622B	Mn ₃ O ₄ , MnO ₂
1,576	St.-elis.
1,556	Mn ₃ O ₄ , MnO ₂
1,529	Mn ₃ O ₄
1,434	MnO ₂
1,425	Mn ₃ O ₄
1,419	Cr.
1,377	St.-elis.

Es conveniente señalar que mediante fluorescencia de rayos-X se detectaron cantidades apreciables (< 1%) de Zn en las diferentes fracciones, lo que hace suponer la presencia de minerales que contengan este elemento. Mediante la difracción de rayos-X no se pudo precisar con seguridad qué mineral es portador del Zn: no obstante, existen en los roentgenogramas indicios de que pueden ser frankilita y (o) hetaerolita.

El mineral "serpentinico arcilloso" se encuentra en todas las fracciones granulométricas estudiadas, y por su contribución másica es el 4to o 5to mineral en importancia, incrementando su contenido en la medida que aumenta el tamaño del grano en las fracciones.

Los valores de $d(\lambda)$ de los reflejos más importantes que presenta esta fase mineralógica en la fracción dispersa (< 37 μm) son: 14, 7, 1-7, 2, 3, 56-3, 60; 1,76-1,79, variando irregularmente sus intensidades en las diferentes fracciones, así como los tratamientos térmicos. Es lógico suponer que estos valores de $d(\lambda)$ no pertenecen solamente a una sola especie del "mineral serpentínico", sino más bien a una mezcla de minerales de una serie o de varias, que en cierta medida sean producto de la serpentina o de la roca serpentínica. La definición de este aspecto mineralógico es tema de otro trabajo de investigación.

ANÁLISIS TÉRMICO

Un aspecto en la caracterización de los componentes mineralógicos que conforman la fracción dispersa de la pulpa es, sin lugar a dudas, el comportamiento térmico de los mismos.

Por difracción de rayos-X se determinó que, entre los óxidos de Fe, la goethita es el mineral predominante en todas las fracciones granulométricas (< 37 μm).

Los ATD de las diferentes fracciones granulométricas se caracterizan por un efecto endotérmico intenso y por una serie de efectos térmicos de menor magnitud.

Un indicio importante que hay que considerar en las curvas de ATD de las diferentes fracciones es la deflexión que aparece aproximadamente de 80 a 105°C, que según criterios de Posnjak y Merwin [12], Arens [1] y Kulp y Trites [9] se debe fundamentalmente a un efecto de tamaño muy pequeño del cristal de la goethita fundamentalmente. En los ATD de las diferentes fracciones granulométricas se observó que la intensidad de este efecto a 80°C aumenta generalmente con el aumento del tamaño "aparente" del grano, siendo la causa principal de la inversión de la tendencia expresada por los autores mencionados la existencia de un número apreciable de grumos en las fracciones más gruesas (> 5 μm), en cuyos intersticios existe un contenido mayor de agua que en los cristales individuales de la goethita.

Las diferentes fracciones granulométricas presentan en el termograma un efecto endotérmico intenso, cuyo mínimo se encuentra entre 250 y 320°C. (Figura 4). Esta oscilación del máximo de temperatura se debe a varias causas. Mackenzie [10] afirma categóricamente que la goethita bien cristalizada presenta un máximo de temperatura en la región de 390°C (95%) a 350°C (5%) y la pobremente cristalizada solamente hasta los 300°C. Sin embargo, Kelly afirma que lo enunciado por Mackenzie [10], Kulp y Trites [9] es válido para la goethita bien cristalizada y que para la goethita de grano muy fino presenta, según los rayos-X, cierto grado de amorfismo en estado sólido, observándose una deshidratación a temperaturas de aproximadamente 50°C por debajo de la lepidocrosita, γ -FeOOH. Esto contradice en cierta medida los resultados de Mackenzie [10] y de Kulp y Trites [9], que demostraron que la goethita es más estable que la lepidocrosita. Smykarsz-Kloss [18] afirma que un factor que hay que considerar, además del grado de desorden reticular, es la composición química de la goethita. La presencia de iones Al^{3+} en la estructura de la goethita hace disminuir hasta 40°C el máximo de temperatura del 1er efecto (Thiel, [20]).

Un efecto exotérmico entre el rango de temperatura de 420 - 475°C es común en minerales identificados por difracción de rayos-X como goethitas (limonitas): Mackenzie [10] atribuye este efecto a la presencia de β -FeOOH y γ -FeOOH en la muestra que se analizará. Tomando en consideración los criterios de los investigadores mencionados, los resultados de las curvas de ATD indican, primeramente, un alto contenido de goethita en las diferentes fracciones, comprendidas de <1 hasta 37 μm , en las cuales la goethita está en forma de pequeños cristales (< 0,1 μm), presentando estos cristales un grado de desorden considerable en el retículo cristalino, si se considera el rango de temperatura en que oscila el máximo de temperatura del 1er efecto endotérmico. Además, sobre la base de la magnitud del corrimiento del máximo de temperatura del 1er efecto a temperaturas inferiores se considera como una de las causas principales las sustituciones isomórficas del Fe^{3+} por otros cationes en el retículo cristalino de la goethita, valorándose el Al^{3+} como el contribuyente principal, pero no obstante no hay que excluir la participación de concurrencia en la sustitución isomórfica a iones como Mn^{2+} y Co^{2+} . Además, es muy probable que la existencia de cantidades apreciables de hidrargilita influyan notablemente en el corrimiento del máximo de temperatura de este efecto endotérmico.

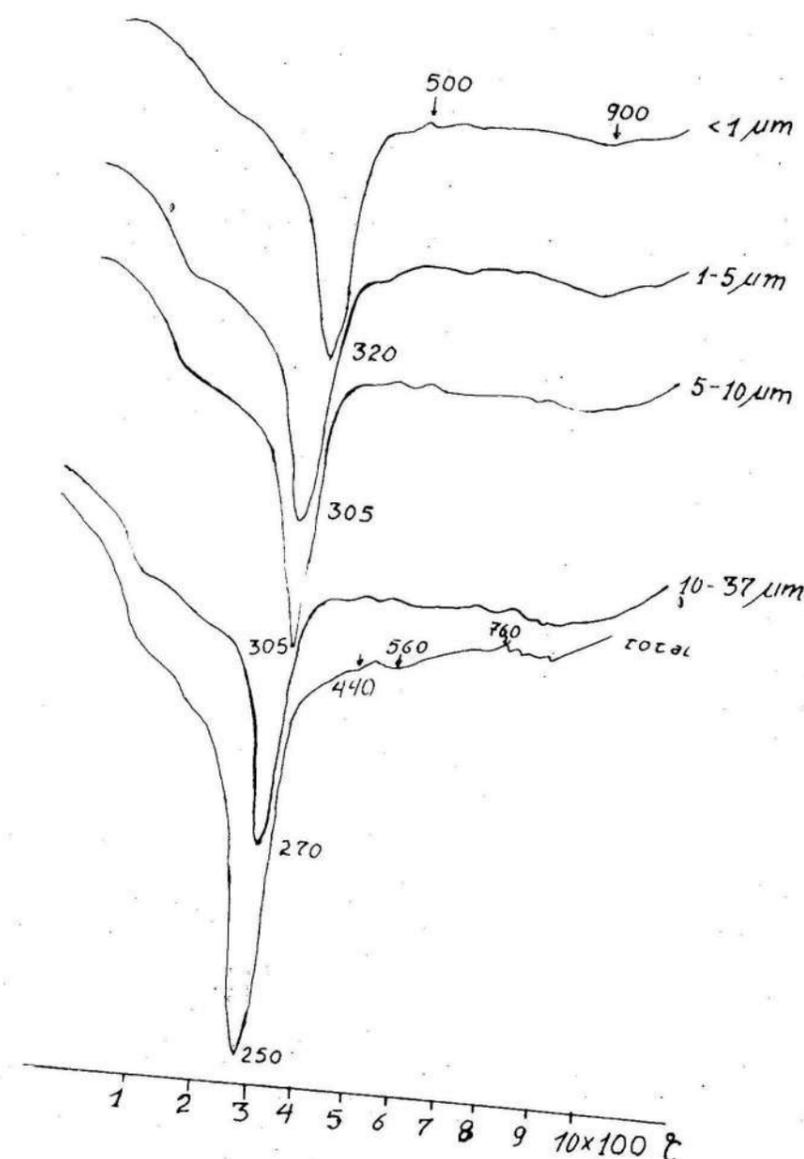


Fig. 4 Curvas de ATD de las diferentes fracciones granulométricas en el rango de temperatura entre 25 y 1000°C.

La presencia frecuente de una reacción exotérmica débil en la región de temperatura comprendida entre 450 - 500°C en las curvas de ATD de las fracciones granulométricas indica con cierta pro-

babilidad la existencia de cantidades apreciables (< 5%) de β -FeOOH y γ -FeOOH en las muestras estudiadas, que no ha sido posible identificarlas con seguridad por difracción de rayos-X.

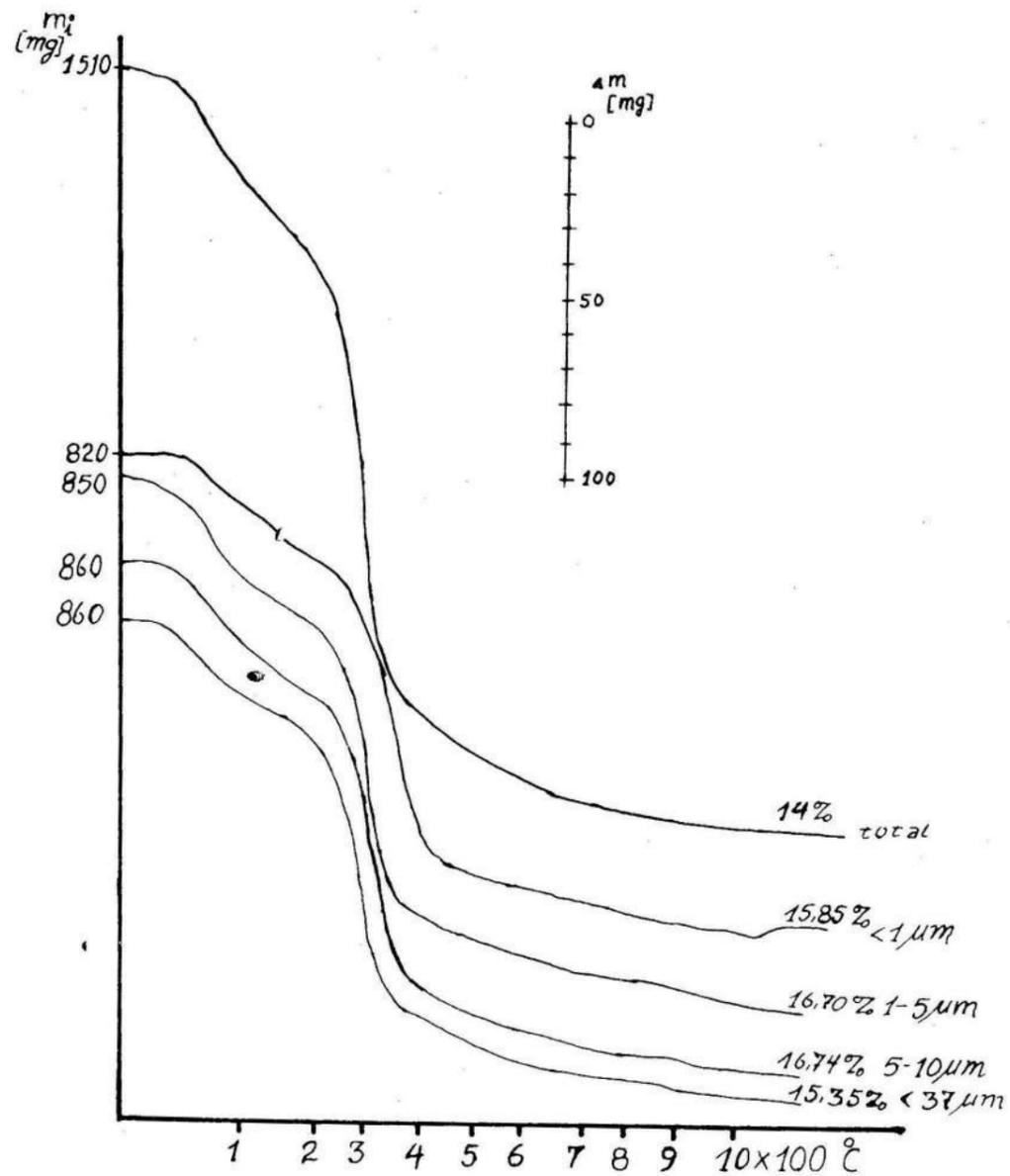


Fig. 5 Curvas termogravimétricas (TG) de las diferentes fracciones granulométricas en el rango de temperatura entre 25 y 1 000°C.

A partir de los contenidos de agua, reportados por Betejtin [2] para la goethita e hidrogoethita se calculó aproximadamente el contenido de la goethita, tomando como partida del cálculo las curvas TG de las fracciones granulométricas en el rango de temperatura de 120°C hasta 400°C, en el cual se manifiesta el 1er efecto endotérmico. Como se

observa en la Tabla 3, el contenido de goethita-hidrogoethita disminuye al aumentar el tamaño del grano en la fracción granulométrica. Los valores reales de la goethita en cada fracción pueden ser algo inferiores (aproximadamente 6 - 12%) debido al contenido de hidrargilita, psilomelanos y asbolanos en las mismas.

TABLA 3. Contenido de goethita en cada fracción granulométrica calculando sobre la base de 11,08% de agua (goethita, 75%; hidrogoethita, 25%) y partiendo de la pérdida de masa en el rango de temperatura de 120°C a 400°C.

D_{eq} (μm)	TG m (%)	Goethita-hidrogoethita (%)	Distribución (%)
1	10,73	96,88	
1-5	10,59	95,62	41,17
5-10	9,38	84,70	16,00
10-37	9,76	88,13	8,00
muestra total	8,48	76,57	23,50

CONCLUSIONES

La fracción dispersa (< 37 μm) de la pulpa cruda laterítica está constituida fundamentalmente por goethita + hidrogoethita, 80-92%; hematita, 5%; magnetita-magemita-lepidocrocita (?), < 4%; oxihidróxido de Al, Mn²⁺(⁴⁺) y Cr³⁺, 6-10%. Entre los últimos minerales predominan la hidrargilita, < 5%; psilomelanos + asbolanos, 1 < 4%. También se encuentran minerales que representan miembros de la serie stainerita-elisabinskita. Además se observan indicios no muy evidentes de frankilita. El mineral "serpentinico" es el tercero en importancia en todas las fracciones granulométricas.

El contenido de oxihidróxidos de Al, Mn y Cr presenta la tendencia general de incrementarse en la medida que aumenta el tamaño del grano de la fracción granulométrica.

La goethita o hidrogoethita se manifiestan ante la difracción de rayos-X y el análisis térmico con cierto grado de desorden reticular, debido, en cierta medida, a sustituciones isomórficas de Fe³⁺ por Al³⁺ fundamentalmente, aunque no hay que descartar la participación de otros cationes como Ni²⁺, Mn²⁺(⁴⁺) y otros en este fenómeno.

Las sustituciones isomórficas, tanto en los oxihidróxidos de Fe como de Al, Mn y otros, aparentan, en parte, ser las causas directas e indirectas de la retención adicional del agua percola entre los grumos y dentro de los mismos, así como en su formación.

REFERENCIAS

- ARENS, P. L.: "DTA of Clay. Dissertation, Wageninge". 1951.
- BETEJTIN, A.: "Curso de mineralogía. Ed. MIR, Moscú, 1977.

- BRINDLEY, G. W.: "X-ray Identification and Crystal Structures of the Clay Minerals. Mineralogical Society, London, 1951.

- BROWN, G.: "The X-ray Identification and Crystal Structures of the Clay Minerals. Mineralogical Society, London, 1972.

- CARLSON, E. T. y C. G. SIMONS: "Lixiviación a presión de lateritas con ácido sulfúrico: Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel. Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1974.

- CORDEIRO, M. C.: "Análisis químico de fases de menas lateríticas oxidadas de la corteza de intemperismo". Tesis de Candidato a Doctor, Universidad de la Habana, 1981.

- DIAZ, G.: "Determinación de la composición mineralógica de las fracciones magnéticas y electromagnéticas de la parte gruesa de las arcillas de la región sur de Las Villas". Tesis de Grado, Universidad Central de Las Villas, 1974.

- HURLBUT, C. S.: "Manual de mineralogía de Dana. Ed. Reverté S. A., Barcelona, 1974.

- KULP, J. P. y A. F. TRITES: "DTA of Natural Hydrated Ferric Oxides". Amer. Miner., 1951.

- MACKENZIE, R. C.: "Differential Thermal Investigation of Clay. Society Mineralogical, London, 1957.

- MIJEEV, V. I.: "Determinador roentgenométrico de minerales. Moscú, 1957.

- POSNJAK, E. y H. E. MERWIND: "Hydrated Ferric Oxides". Amer. J. Sci., 1919.

13. PONCE y SAUNDERS: Ver tesis de Cordeiro.
14. QUINTANA, R.: "Metodología de la investigación mineralógica de lateritas con alto contenido de minerales arcillosos". Ciencia de la Tierra y del Espacio, 1984 (en imprenta).
15. QUINTANA, R. y R. GONZALEZ: "Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento de Moa: Análisis granulométrico". Minería y Geología no. 2/84 (en imprenta).
16. QUINTANA, R.: "Untersuchung zur Phasenanalyse der nichtkarbotischen Anteile von Mergel, sowie von Kaolinene der Region Cienfuegos im Mittelkubas". Disertación de Candidato a Doctor. Geifswald, EMA, Univ., RDA, 1980.
17. SCHULTZE, D.: "Differentialthermoanalyse". Verlag Chemie, Berlin, 1969.
18. SMYKARZ-KLOSS, W.: "Differential thermal analysis. Application and results in mineralogy". *Minerals and Rocks*, vol. 11, Spinger Verlag, Berlin, 1974.
19. SCHIRIKOVA, I. Y.: "Informe geológico del yacimiento Moa, Empresa 'Comandante Pedro Sotto Alba'". ISMMMOa, Holguín, 1966.
20. THIEL, R.: "Zur System α -FeO(OH)- α AlO(OH)". Z. Anorg. Chemie, 1963.
21. ZINCHENKO, O. y R. QUINTANA: "Composición mineralógica de varios yacimientos de arcillas de la región de Cienfuegos". *Revista Centro. Serie: Química y Tecnología Química*, 1975.

CDU : 621.313.323 : 621.319 (729.1)

INVESTIGACION EXPERIMENTAL DEL TRABAJO DE LOS MOTORES ASINCRONICOS CON FRECUENCIA DE 50 HZ EN REDES DE 60 HZ

Ing. Rafael Pérez Barreto, Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular del ISMMMOa

Ing. Svetlana Maluk, Profesora Auxiliar del ISMMMOa

RESUMEN

En el trabajo se exponen los resultados de los ensayos de un motor asincrónico con el rotor en cortocircuito del tipo A0-51/4 de fabricación soviética en régimen de marcha al vacío, y de cortocircuito en redes de 50 y 60 Hz.

Se muestra cómo influye la variación de la frecuencia en las principales características técnico-energéticas del motor. Se comprueba en la práctica que el aumento de la frecuencia en un 20% empeora considerablemente los índices de explotación, incluso cuando la tensión aumenta hasta 440 V.

ABSTRACT

This work gives the results of the test of an asynchronous engine with the rotor in short circuit in nets of 50 and 60 Hz.

It is shown the influence of the frequency variations on the essential technical-energetic features of the engine. It is proved, in actual practice, that a 20% increase of frequency considerably worsens the exploitation indicators, even when the tension rises to 440 V.

En Cuba tradicionalmente se ha utilizado el sistema de generación, transformación, distribución y consumo de energía eléctrica alterna trifásica, con frecuencia de 60 Hz.

En la industria minero-metalúrgica del níquel se utiliza con mucha frecuencia el sistema de corriente trifásica de baja tensión, 440/220 V. En algunas empresas de producción, pequeñas y medias, que se alimentan con la red energética nacional se utiliza también la corriente eléctrica con una tensión de 380/200 V.

Después del triunfo de la Revolución el equipamiento eléctrico de Cuba procede, principalmente de los países del campo socialista, que en la mayoría de los casos trabajan con frecuencia de 50 Hz y bajo voltaje de corriente alterna, de 380/220 V.

En los últimos años son frecuentes los casos de sustitución de los motores eléctricos viejos, por motores nuevos cuyos voltajes y frecuencias nominales no se corresponden con las existentes en la producción cubana. Por otra parte se adquie-

ren grandes cantidades de motores eléctricos con las características mencionadas para las empresas de nueva creación. Estos motores al ponerse en explotación presentan frecuentes averías.

Los motores asincrónicos con el rotor cortocircuitado (de jaula de ardilla) constituyen unos de los más utilizados en el accionamiento del equipamiento de trabajo de la industria niquelífera, para potencias de hasta 100 kW. Ellos consumen la mayor parte de la energía eléctrica generada por las termoeléctricas que emplean combustible líquido de importación [1], cuyo precio se incrementa constantemente.

Las fábricas de níquel de Moa y Nicaro pertenecen al grupo de 11 empresas cubanas que consumen cerca del 60% de todo el combustible del país. Desde este punto de vista tienen un interés especial los trabajos encaminados a la búsqueda de nuevas vías que reporten una utilización más racional de la energía eléctrica.