

3. FALCON FERNANDEZ, J. y A. HERNANDEZ FLORES: "Determinación de los esquemas racionales para la preparación y beneficio integral de minerales lateríticos". Informe de Investigación. DICT. ISPJAM, 1990.
4. — y A. COELLO. "Preparación mecánica de los minerales lateríticos". Seminario Internacional sobre Tecnología de lixiviación ácida de Minerales Lateríticos, Moa, 1991.
5. HERNANDEZ ESTRADA S. y otros: "Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel". ICL, 1972.
6. KIRBY D. y D. GEORGE: "Coproducción de cromita de níquel de lateritas, Circ. Bur Mines U.S. Dept. Int., 1986.
7. ONODERA, I.: Invet. Inaizumit. Attempts of the beneficiation of laterite nickel ore" Inst. J. of Min. Processing 19, Bélgica, 1987.
8. RODRIGUEZ CARDONA, A.: "Prospección y exploración de las cortezas de intemperismo sobre ultramafitas en Nicaro y Pinares de Mayari". Tesis en opción al grado de C.Dr en Ciencias Geológicas, ISMM, Moa, 1990.

## Comunicación de logros Científico-Técnicos del Centro de Investigaciones de Soldadura (UNIVERSIDAD CENTRAL DE LAS VILLAS)

### LOGROS QUE SE OFERTAN

- Fundente fundido CIS F10, obtenido a partir de minerales cubanos (85 - 90 % de su composición), que sustituye a los fundentes AH 348A y AS 200 (400 ton de consumo anual en Cuba).
- Tecnología para su producción (know how).

### CAMPO DE APLICACION DEL FUNDENTE FUNDIDO CIS F10

El Fundente Fundido CIS F10 está destinado para la soldadura automática y semiautomática por arco sumergido de aceros de bajo contenido de carbono y baja aleación tales como: Bct 3c, Bct 3, 18k, 20k y similares. Es decir, aceros para la construcción de equipos agrícolas, tales como barras de tiro, implementos de diferentes tipos, vagones o carretas, construcción de equipos para centrales azucareros como domos, calderas, vaporizadores, etc y construcciones soldadas disímiles tales como: vigas armadas y contenedores.

### EXTENSION DEL CAMPO DE APLICACION DEL FUNDENTE FUNDIDO CIS F10

Puede ser utilizado en forma de fundentes (de forma mecánica o aglomerada) para el relleno superficial de piezas sometidas al desgaste como por ejemplo ruedas de ferrocarril, rodillos de esteras y reparación de cigüeñales. El fundente fundido CIS F10 se ha probado no sólo a escala de laboratorio en el CIS, sino también en diferentes fábricas donde, según el criterio de los especialistas de estos centros, presenta buenas propiedades tecnológicas, como lo ratifican sus avales.

## CENTRO DE INVESTIGACIONES DE SOLDADURA

### UNIVERSIDAD DE LAS VILLAS

El Ingeniero Carlos René Gómez P. y el Dr. Rafael Quintana Puchol del Centro de Investigaciones de Soldadura de la Universidad de las Villas realizaron un estudio sobre la obtención de fundentes fundidos a partir de materias primas minerales cubanas, lo cual arrojó importantes resultados. El primero de estos resultados lo constituye la tecnología de obtención de fundentes fundidos a partir de minerales cubanos y la confección del equipamiento necesario para la misma. La segunda, y no menos importante, lo constituye la obtención del primer fundente fundido cubano (CIS F10) con un 90 % de sus componentes de procedencia nacional y cuyo comportamiento lo hace similar a productos de prestigiosas firmas comerciales. Es de destacar que además de poderse utilizar para la soldadura, el fundente fundido CIS F10 puede ser utilizado para la recuperación de piezas desgastadas en cualquiera de estas tres variantes:

1. Relleno superficial (recargue) con fundente CIS F10 y alambre aleado.
2. Recargue con la mezcla mecánica o aglomerada del fundente CIS F10 y un fundente cerámico, empleando un alambre sin aleación.
3. Recargue con el fundente CIS F10 y ferroaleaciones, en forma de un material aglomerado único, empleando un alambre sin aleación.

## VALORACION MINERALOGICA DEL MATERIAL PROCESADO EN LA EMPRESA ERNESTO GUEVARA

Ing. Arturo Rojas Purón\*  
Ing. Moraima Fernández\*  
Ing. Alexander Lapin\*\*

\* Instituto Superior Minero Metalúrgico  
\*\* Instituto de Minas de Leningrado

**RESUMEN:** Se presenta un estudio de las fases minerales presentes en el material que se alimenta a la industria Ernesto Guevara y se valoran las transformaciones que sufre dicho material durante el proceso de reducción y lixiviación carbonato amoniacal. Se realizaron análisis granulométricos, de difracción de rayos X y Espectroscopía de Absorción Atómica, lo que permitió establecer que la presencia de olivino y magnetita en estos materiales, dificultan la recuperación del Ni en el proceso metalúrgico.

**ABSTRACT:** A study of mineral phases present in the material supplied to Ernesto Guevara Nickel Plant is shown, as well as the material transformation that takes place during the reduction-leaching; carbonate ammoniacal process. X-ray diffraction, Atomic Absorption Spectroscopy and granulometric analyses suggest that olivine and magnetite present in this material hinder the recuperation of nickel in this technological process.

### INTRODUCCION

Entre los problemas que presenta la industria Ernesto Guevara está el relacionado con la no completa recuperación del níquel potencialmente extractable del material inicial sometido a reducción y posteriormente a lixiviación carbonato amoniacal, por lo que la presente valoración mineralógica está dirigida a aportar ideas que permitan esclarecer las causas de este fenómeno negativo.

Las características mineralógicas del material no lixiviable en esta industria niquelera son poco conocidas, prácticamente no se ha reportado ningún estudio mineralógico sobre este material, aún cuando es conocido el hecho de que el Ni puede ser retenido en las redes cristalinas de los minerales presentes en las lateritas, como lo han

demostrado Ammon Chokroum M, 1972; Cordeiro A.C, et al, 1987; Kunhel R.A. et al, 1978 y Rojas Purón L.A. et al, 1989. De tal forma que se aprecia la necesidad de valorar con cierta profundidad la composición mineralógica de este material, tanto el alimentado a los hornos como los subproductos no lixiviados en las etapas siguientes.

Se trata de dar respuesta a dos aspectos esenciales del problema:

- la composición mineralógica del material sólido no lixiviable en el proceso carbonato amoniacal.
- explicar los cambios que se operan en los minerales presentes en el material procesado.

### Muestreo

Con el objetivo de conocer la evolución que sufre el material laterítico desde su entrada al horno (muestra HR-1) hasta la zona de lavado (muestra 221), se realizó el muestreo puntual en los diferentes puntos, los cuales

quedan expresados según datos de la tabla 1, tratándose de obtener información sobre los cambios que sufre el material al salir de las diferentes etapas de lixiviación y sedimentación.

TABLA 1. Muestras Analizadas y su Composición Química Parcial.

Muestras	Representatividad	Contenido en %				
		Ni	Ni	Fe	Fe	Co
HR-1	Mineral inicial	1,36	—	38,5	—	0,08
101	Mineral reducido	1,56	1,21	42,9	2,21	0,11
108	Mineral lixiviado	0,63	0,20	42,6	2,20	0,09
120	Mineral lixiviado	0,60	0,19	42,7	1,88	0,10
130	Mineral lixiviado	0,62	0,16	43,0	1,46	0,10
221	Pulpa de las colas	0,51	0,06	41,3	1,56	0,08

Cada una de las muestras, que son representativas y reales de cada etapa del proceso metalúrgico fue sometida a:

- separación granulométrica

- separación magnética

La figura 1, expone la trayectoria de las distintas etapas de preparación de muestras.

Además de las separaciones granulométricas las muestras fueron valoradas mineralógicamente utilizando técnicas de difracción de rayos X y Espectroscopía de Absorción Atómica.

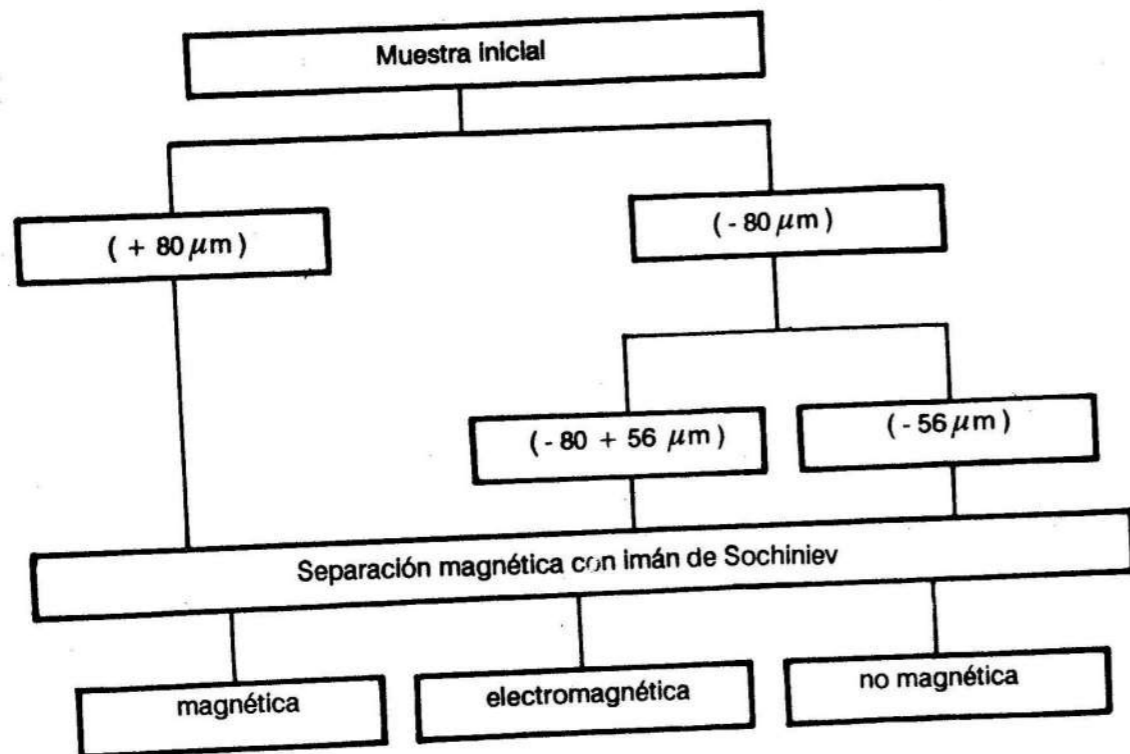


FIGURA 1. Esquema de preparación de muestras.

### Trabajos Experimentales

#### Análisis granulométrico

Las etapas de separación granulométrica se realizaron por tamización, según los tamices de 80 y 56 micrones, y la separación magnética, utilizando imán de mano de tipo Schniev, ya utilizado por Ponce N. et al en 1983.

Los resultados de las separaciones granulométricas se exponen en la siguiente tabla:

TABLA 2. Resultados de las separaciones granulométricas.

Muestra	(+80 m)	(-80+56 m)	(-56 m)
HR-1	10	9	81
101	19	8	73
108	45	10	45
120	34	11	55
130	32	13	55
131	34	6	60
221	26	10	64

De ella podemos establecer las siguientes consideraciones:

- el material suministrado a los hornos (según muestra HR-1) está constituido fundamentalmente por partículas finas de tamaño menor que 56 micrones que representan el 80 % del peso de la muestra.
- el material presente en la pulpa de las etapas de lixiviación y sedimentación (muestras 120, 130, 131) está

constituido principalmente por granos finos, menores de 56 micrones con valores promedios de un 55 a 60 % en peso de la muestra, además posee una porción significativa de grano grueso que alcanza un 30 % del peso.

- la composición granulométrica del material reducido que sale del horno (muestra 101) es algo parecida al material inicial, pues sus granos son más bien finos (en un 70 %), pero se aprecia un aumento de la fracción gruesa que representa un 20 %.
- el material obtenido en la primera etapa de lixiviación (muestra 108) está constituida mineralógicamente por dos fracciones: una parte de grano fino y una parte de grano grueso, ambos en un 45 % del peso de la muestra.
- la fracción de grano medio es poco significativa en la composición granulométrica de estas muestras y sólo alcanza un 10 %.

Al valorar los resultados de las separaciones, vale señalar, que la granulometría de las muestras en general es de grano fino (menor que 56 micrones), donde varía su contenido de un 80 % en el material inicial hasta un 60 % en la pulpa de las etapas de lixiviación y sedimentación.

La fracción más gruesa, mayor que 80 micrones, pobre en los materiales iniciales llega a alcanzar hasta un 30 % en la pulpa. La fracción de grano medio, entre 80 y 56 micrones, es poco significativa y sólo alcanza un 10 % en las muestras.

#### Análisis por difracción de rayos X

Las muestras se procesaron utilizando un difractor del tipo HZG-4 con radiación de Co k, bajo un régimen de 40 kV y 20 mA.

Los resultados de estos análisis se exponen en la siguiente tabla:

TABLA 3. Resultados de los análisis roentgenométricos.

HR-1		101		108		120		130		221		Fases Minerales
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	
7.28	5.6					7.36	0.5					A
4.97	1.8											
				4.83	1.6			4.81	1.5			M
		4.77	1.3			4.76	1.5			4.77	1.3	Cl
4.69	1.8	4.73	1.0			4.73	1.0	4.65	0.5			
		4.25	1.7			4.24	0.8					Q
4.19	10											G
								3.91	0.8	3.89	1.0	Cl
3.64	3.8											A
		3.52	1.0	3.51	1.0	3.51	1.2	3.52	1.0	3.51	1.2	Cl,G
3.34	2.0	3.32	1.8	3.34	1.5	3.32	1.0			3.34	1.0	Q
2.96	2.0	2.94	3.5	2.95	3.2	2.94	3.0	3.04	3.5	2.91	3.0	M
										2.86	0.8	Fr
		2.80	1.8	2.80	1.5	2.81	1.2	2.80	1.5	2.81	1.5	Fr
2.69	5.0											G
2.55	8.0											
		2.50	10	2.50	10	2.49	10	2.50	10	2.51	10	M
2.44	8.0											
2.24	2.0											
2.19	2.1											H
2.08	1.0	2.08	9.0	2.08	3.0	2.08	3.0	2.09	3.0	2.08	2.8	M
		1.47	3.0	1.47	3.1	1.47	3.1	1.47	3.0	1.47	3.0	M,H

1. Mineral inicial (HR-1).
2. Mineral reducido (101).
3. Mineral lixiviado (108).
4. Mineral sedimentado (120).
5. Mineral lixiviado (130).
6. Mineral de lavados (221).
7. Antigorita (A).
8. Magnetita (M).
9. Goethita (G).
10. Clorita (Cl).
11. Forsterita-Fe (Fr).
12. Cuarzo (Q).
13. Hemalita (H).

El material suministrado a los hornos está compuesto fundamentalmente por fases minerales de óxidos e hidróxidos de Fe que llegan a alcanzar hasta un 70 % y silicatos de Mg y sílice que representa un 30 %; entre los primeros tenemos principalmente: goethita e hidrogoethita según los reflejos difractométricos 4,18 Å<sup>o</sup>; 2,69 Å<sup>o</sup>; 2,44 Å<sup>o</sup> y 2,19 Å<sup>o</sup>. La hidrogoethita se detecta por un intenso pico de 2,44 Å<sup>o</sup> además de los ya mencionados. La magnetita según 2,55 Å<sup>o</sup>; 2,96 Å<sup>o</sup> y 4,90 Å<sup>o</sup>. Los silicatos de magnesio están representados por antigorita según 7,28; 4,63; 3,64 y 2,55 Å<sup>o</sup> y clorita de la serie pennina, tipo Kaemmlerita según 2,44; 7,21; 3,60; 4,81 y 4,62 Å<sup>o</sup> aunque puede haber otra clorita, pues se han detectado reflejos cerca de 14,0 y 4,75 Å<sup>o</sup> atribuibles a la Schuchardita, aunque esto necesita precisarse aún con fracciones monominerales presentes en

nuestras cortezas ferroniquelíferas ya reportadas por Kudlasak et al en 1974 y Ostroumov M. et al en 1987. Además posee cuarzo cristalino según los picos 3,34; 4,25 y 1,81 Å<sup>o</sup>.

La composición mineralógica de los productos obtenidos en las etapas de lixiviación y sedimentación es de óxidos de hierro, básicamente magnetita con un cuadro completo de difracción: 2,50; 2,94; 4,77; 2,08; 1,60 y 1,47 Å<sup>o</sup>; fases de silicatos de magnesio e hierro, que son minerales de la serie del olivino, Forsterita-Fe según 2,48; 2,80; 2,53 y 3,25 Å<sup>o</sup> y existe cuarzo según 3,32; 4,25 y 1,81 Å<sup>o</sup>.

En los difractogramas se detectan además pequeños picos con valores de 4,73 Å<sup>o</sup> que pueden estar asociados a 3,52 y 2,87 Å<sup>o</sup> típicos de cloritas, lo que debe ser precisado tomando fundamentalmente las fracciones finas no magnéticas de estos materiales.

### DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Las fases minerales presentes en el material suministrado a los hornos son fundamentalmente:

- óxidos e hidróxidos de hierro
- silicatos de magnesio
- sílice (cuarzo)

Las formas cristalinas de estos compuestos, según los resultados de difracción de rayos X, la constituyen:

1. Óxidos e hidróxidos de hierro:
  - 1.1 Goethita e hidrogoethita: FeOOH y FeOOH n H<sub>2</sub>O
  - 1.2 Hematita: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - 1.3 Magnetita: Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

## 2. Silicatos de magnesio:

2.1 Antigorita:  $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$

2.2 Pennina:  $(Mg,Fe)_5Al(Al,Si_3O_{10})(OH)_8$

## 3. Sílice:

3.1 Cuarzo ( $SiO_2$ )

Dada la composición mineralógica del material inicial, para los óxidos e hidróxidos de Fe que se suministran a la industria Ernesto Guevara se presentan tres formas mineralógicas diferentes: goethita, hematita y magnetita. Esta información es valiosa y debe tenerse en cuenta para optimizar el proceso metalúrgico. Los silicatos de Mg poseen dos formas cristalinas fundamentales: antigorita y pennina, esta última en muy poca cantidad.

Muchas de estas fases cristalinas al estar sometidas a un régimen de alta temperatura se transforman o se destruyen y pueden dar lugar a nuevas fases minerales cristalinas. Los hidróxidos de Fe: la goethita e hidrogoethita se destruyen a los 320-350 °C con la pérdida de los grupos OH [6,9] posibilitando la cristalización posterior de la magnetita (con un proceso previo de oxidación), según la ecuación:



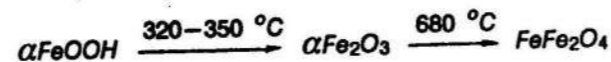
Aquí se detecta la forsterita-Fe principalmente. Las cloritas también se destruyen en dos etapas, una alrededor de los 620-650 °C mediante la ruptura de las capas "brucitoides" y un proceso posterior de deshidroxilación final de la estructura a los 820-850 °C. [3]

Debe tenerse en cuenta en estas transformaciones de fases por calentamiento, que según reporta Brindley-Ming Wan [2] se puede formar la fase LS a los 600 - 800 °C antes de la cristalización del olivino cuya fase es muy parecida a la clorita, por lo que es evidente el reforzamiento de esta fase clorítica, aunque en las muestras analizadas aparece en poca cantidad, alrededor de un 5 %. En cuanto al cuarzo, se mantiene cristalino durante todo el proceso, su transformación polimorfa a los 573 °C lo conserva cristalino. [4]

Las fases minerales cristalinas presentes en el material reducido (muestra 101) como los subsiguientes productos lixiviados y sedimentados son fundamentalmente:

### 1. Óxidos de Fe:

1.1 Magnetita:  $FeFe_2O_4$



La hematita se oxida alrededor de los 680 °C cristalizando maghemita  $Fe_2O_3$  que luego a 1 000 °C se transforma en magnetita  $FeFe_2O_4$  [7] y por lo tanto la magnetita se transforma como fase cristalina auténtica [6,14], según la ecuación:



Esto explica el por qué los productos lixiviados y sedimentados son básicamente magnéticos y la magnetita es el mineral principal.

Los silicatos de Mg como la antigorita, alrededor de los 680 a 720 manifiestan en ellos procesos de deshidroxilación [1,2], destruyéndose la fase mineral y quedando el material propicio para la cristalización de las fases de silicatos de Mg y Fe a los 820 °C [3] que son minerales del grupo del olivino, típicos para estas circunstancias [2] expuesto según la reacción:

## 2. Silicatos de Mg e Fe

2.1 Forsterita-Fe:  $(Mg,Fe)_2(SiO_4)$

2.2 Clorita:  $(Mg,Fe)_5Al(Al,Si_3O_{10})(OH)_8$

## 3. Sílice

3.1 Cuarzo:  $SiO_2$

De esta composición mineralógica vale destacar dos aspectos:

1. Constituyen un grupo reducido de fases cristalinas, no tan numeroso como las que componen el material inicial (HR-1), lo que demuestra la destrucción de las fases cristalinas no estables a régimen de temperatura superior a 600 - 800 °C, por lo que las nuevas fases se han formado a elevadas temperaturas y algunas se han consolidado como la magnetita.
2. Es significativo que las fases cristalinas que componen los materiales reducidos y sedimentados, es la misma, no tienen diferencias entre sí, por lo que se puede concluir que entre estas fases están los responsables de la retención del Ni en su estructura que no permiten su recuperación en el proceso metalúrgico.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos podemos establecer las siguientes conclusiones:

1. Las fases minerales presentes en el material alimentado a los hornos son fundamentalmente óxidos e hidróxidos de hierro: goethita e hidrogoethita, hematita y magnetita, que alcanzan hasta un 70 % en peso de la muestra, además, silicatos de magnesio y sílice: antigorita, clorita y cuarzo.
2. Las fases minerales cristalinas presentes tanto en el material reducido como en los productos no lixivios

dos y sedimentados son principalmente: magnetita y forsterita, en mayor cantidad, y además cuarzo y clorita.

3. Entre las fases de magnetita y forsterita están los responsables de la retención del Ni en la estructura que no permiten su recuperación en el proceso metalúrgico.
4. La granulometría de las muestras en general es fina (menor que 56 micrones), variando su contenido de un 80 % en peso en el material inicial hasta un 60 % en la pulpa en las etapas de lixiviación y sedimentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AMMON CHKRONM, M.: Selección de un proceso de tratamiento metalúrgico de las ferritas cobalto-niquelíferas de Nueva Caledonia. CIPIM, 1972.
2. BRINDLEY G.W. y H.M. WAN: "Composición, estructura y análisis térmico de los minerales que contienen Ni en la serie Lizardita-Napouita". American Mineralogist, Vol. 60, 863-875, 1975.
3. CAILLIERE S. and S. HENIN: "In the differential thermal investigation clays", 207 p. Ed. R.C. Mackenzie. Mineralogical Society, London, 1957.
4. GRIMSHAV, R.M. et al: "Thermal effects accompanying silica inversion". Trans. Br. Ceram. Soc. 47, 269, 1948.
5. Informe "Sobre estudio granulométrico del material procesado en la fábrica Ernesto Guevara, 1989.
6. Instituto de Minas de Leningrado: Análisis térmico de minerales y rocas. Ed. Nedra, 1974.
7. KLOCKMANN, F. y P. RAMDORH: Tratado de Mineralogía. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1961.
8. KUDELASEK, M. et al: "Mineralogía de la corteza de intemperismo de las rocas ultrabásicas de la costa norte de Oriente, Moa y Nicaro", revista Geología, No. 1, 1974.
9. KULP, J.L. and A.F. TRISTE: "DTA of natural hydrous ferric oxides". American Mineralogist, Vol. 36 No.23.
10. OSTROUMOV, M. et al: "Caracterización de las lateritas del sector Atlántico del Yacimiento Moa", revista Minería y Geología No. 1, 1985.
11. PONCE, N. et al: "Posible influencia de la composición mineralógica en la sedimentación de la pulpa cruda de Moa", revista Minería y Geología. No. 3, 1983.
12. ROJAS PURON, A.L. et al: "Iniciación al estudio de los principales minerales portadores de Ni en las lateritas del yacimiento Moa". Informe del Departamento de Geología del ISMM de Moa, 1989.
13. SCHMIDT, E.R and F.M. VERMAAS: "DTA and cell dimensions of some natural magnetites". American Mineralogist, Vol. 40 No. 22.
14. SOBOL, S.I.: "Composición mineralógica de las lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácido sulfúrico en autoclaves", revista Tecnológica, 1968.

## EMPRESA COMERCIAL PARA LA INDUSTRIA METALURGICA Y METAL-MECANICA



## COMMERCIAL ENTERPRISE FOR METAL-MECHANIC AND METALLURGICAL INDUSTRY

## ENTREPRISE COMMERCIALE POUR L'INDUSTRIE METALURGIE ET METAL-MECANIQUE

Dedicada a la atención de las ramas del desarrollo metal-mecánico y geológico-minero ECIMETAL es una institución que brinda sus servicios en la realización de proyectos, estudios, suministros de equipos y materiales, así como asistencia técnica para la instalación de plantas industriales, líneas tecnológicas, completamiento de plantas y entrenamiento de personal.

Especially in the development of geological-mining and Metal-Mechanic branches, ECIMETAL is an institution offering its services in the preparation of projects and studies, as well as in the supply of equipment, materials and technical assistance for the installation of industrial plants, technological lines, completion of plants and training of personnel.

ECIMETAL est une institution consacrée au développement métal-mécanique: et géologique-minier qui offre ses services dans la réalisation de projets, d'études, de fourniture des matériels et matériaux. D'autre part, ECIMETAL offre de l'assistance technique dans le montage des installations industrielles, les procédés technologiques, les compléments d'usines et les stages pour le personnel.