



**REPUBLICA DE CUBA**  
**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR**  
**INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO**  
*Dr. Antonio Núñez Jiménez*

## **TESIS EN OPCION AL TITULO DE MASTER**

**TITULO: Estudio de beneficiabilidad de los escombros lateríticos de la  
región de Moa.**

**AUTORA: Ing. María Caridad Ramírez Pérez.**

**TUTORES: Dr. Alberto Hernández Flores.  
Dr. José Alberto Pons Herrera.**

**2002**

**"Año de los héroes prisioneros del imperio"**

## **Resumen.**

Cuba posee una de las mayores reservas ferroniquelíferas del mundo, localizadas fundamentalmente en la región de Mayarí - Moa. Como resultado de la explotación minera de estos yacimientos, se generan grandes volúmenes de escombros lateríticos los que no son utilizados actualmente por las industrias metalúrgicas existentes en esta región, por no poseer los requisitos exigidos para ser procesados por las tecnologías de lixiviación ácida a presión y la carbonato-amoniaca.

Este trabajo tiene como objetivos fundamentales los siguientes:

- 1.- Caracterizar desde el punto de vista físico, químico y mineralógico, los escombros lateríticos de la región de Moa.
- 2.- Realizar un estudio de beneficiabilidad para el aprovechamiento integral de estos escombros.

La metodología de investigación empleada incluye: el análisis bibliográfico de los principales trabajos realizados sobre el tratamiento mecánico y el beneficio de las lateritas, fundamentalmente de los escombros lateríticos; la determinación de las características físicas, químicas y mineralógicas donde se utilizaron técnicas de análisis de alta confiabilidad como son la difracción y la fluorescencia de rayos X , así como el estudio de beneficiabilidad realizado a partir de las funciones de masa y de contenido, tomando como propiedades el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas.

Los resultados son expuestos en tablas y figuras recogidos en la memoria escrita, estructurada en tres capítulos fundamentales y un cuerpo de anexos.

El valor práctico de esta investigación está determinado por la ampliación del conocimiento acerca de estos desechos mineros que permiten establecer, en lo adelante, las regularidades de los escombros lateríticos de la región de Moa; la posibilidad de seleccionar, a partir de los resultados obtenidos, esquemas tecnológicos para su aprovechamiento integral que ayudaría a mitigar, en gran medida, el efecto ecológico que ocasionan estos residuales sólidos y como fundamento para los posibles usos industriales, principalmente en los procesos siderúrgicos.



<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes y estado actual de la temática tratada.....	
<b>Capítulo I. Materiales y Métodos</b> .....	
1.1 Selección y preparación de las muestras.....	
1.2. Técnicas analíticas y experimentales utilizadas.....	
1.2.1. Análisis químico.....	
1.2. 2. Análisis granulométrico.....	
1.2.3. Análisis Mineralógico.....	
1.2.4. Separación magnética.....	
1.2.5. Teoría de separación de componentes útiles. (Teoría de Tijonov ).....	
<b>Capítulo II. Análisis de los resultados de la caracterización</b> .....	
2.1. Caracterización granulométrica.....	
2.2. Caracterización química.....	
2.2.1. Variación del contenido de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas.....	
2.3. Caracterización mineralógica.....	
2.4. Caracterización magnética.....	
2.4.1. Variación del contenido de los elementos químicos a diferentes intensidades de campo.....	
2.4.2. Salidas de las fracciones granulométricas a diferentes intensidades del campo.....	
<b>Capítulo III. Análisis del beneficio de los escombros lateríticos</b> .....	
3.1. Análisis del beneficio según el tamaño de las partículas.....	
3.2. Análisis del beneficio según el tamaño y la susceptibilidad magnética.....	
3.3. Cálculo y análisis de los índices tecnológicos del beneficio.....	
3.4. Análisis del efecto ecológico de las escombreras.....	
<b>Conclusiones</b> .....	
<b>Recomendaciones</b> .....	
<b>Bibliografía</b> .....	
<b>Anexos</b>	



## **1. Introducción.**

### **1.1 Planteamiento del problema.**

Los yacimientos de lateritas ferroniquelíferas de Cuba están ubicados fundamentalmente en la parte oriental de la provincia de Holguín, constituyendo aproximadamente el 28% de las reservas mundiales de níquel. Además del níquel y cobalto, las lateritas contienen hierro, cromo y otros componentes. Sin embargo, hasta el momento solamente se extraen, con pérdidas sustanciales, níquel y cobalto, razón por la cual es de gran importancia el aprovechamiento integral de estos yacimientos en los que existen importantes reservas de escombros lateríticos, material que por su baja ley de níquel y cobalto no es utilizado industrialmente. Estos escombros se acumulan en las llamadas escombreras y son el resultado de la explotación minera del mineral laterítico, cuyas reservas superan los 100 millones de toneladas. (Palacios, 2001).

La parte superior del perfil laterítico ha sido denominada con diferentes términos según el objetivo de los trabajos investigativos de varios autores; entre los más utilizados podemos citar los siguientes: escombros lateríticos, coraza o corteza ferruginosa, ocres inestructurales con concreciones, ocres estructurales y ocres superiores. Por tanto, en este trabajo emplearemos el término comúnmente utilizado, o sea, **escombros lateríticos**.

En resumen, estos desechos sólidos constituyen un foco de polución ambiental ocasionando un serio desequilibrio en el ecosistema de la región, generando la contaminación de ríos y del mar por arrastre de estos materiales. (Ramírez, M, y J. Pons, 2001).

Los contenidos de elementos valiosos como hierro (35 – 55 %), cromo (1,8 – 2,8) y otros como el aluminio, silicio, magnesio, níquel y cobalto, hacen de este material una importante fuente de materia prima para su procesamiento y la recuperación de los componentes principales.

Por otra parte, los yacimientos que se explotan actualmente poseen relativamente, bajos contenidos de níquel y cobalto lo que ha provocado el desarrollo de nuevas investigaciones encaminadas al diseño de tecnologías como son: Tecnología para la

separación de cobalto, (Palacios, A, 2001); Precipitación de los sulfuros, (Garrido, M, 2000); Biolixiviación de los minerales lateríticos, (Bruguera, N, 2000) y los trabajos realizados en el Centro de Investigaciones de la lateritas (CIL) relacionados con los procesos de extracción con solventes orgánicos, (Moreno, A, et al, 2000 y García, E, et al, 2001) entre otras, que permitan el aprovechamiento de los valores metálicos presentes en el mineral laterítico.

El país realiza grandes esfuerzos encaminados a elevar la capacidad de producción de las empresas niquelíferas, hasta aproximadamente 100 000 toneladas anuales de níquel más cobalto; esto conlleva al procesamiento de mayores volúmenes de minerales portadores de estos metales, que los explotados actualmente, pues la extracción del mineral se realiza garantizando contenidos superiores al 0,9 % de níquel en el mineral alimentado a las plantas metalúrgicas, lo que trae como consecuencia la acumulación de mayores volúmenes de minerales fuera de balance que pasan a conformar las llamadas escombreras. Un caso particular lo constituyen los escombros lateríticos del sector A de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A, de los cuales no se tiene un suficiente conocimiento, que permita establecer tecnologías para su utilización y la recuperación de los valores metálicos en ellos presentes.

Por tanto, la posibilidad de procesar los escombros lateríticos, teniendo en cuenta sus características físico - químicas y mineralógicas, se convierte igualmente en una necesidad de estas industrias, lo que constituye una de las líneas priorizadas del MINBAS, ([www/minbas.com](http://www/minbas.com)), encaminadas al aprovechamiento integral de esta materia prima.

De ahí que la situación problemática que se presenta es: **El insuficiente estudio de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los escombros lateríticos de la región de Moa, no permite establecer sus regularidades y su posible utilización industrial.**

El *problema* que se toma en consideración para la realización de este trabajo consiste en: **la determinación de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas, así como la beneficiabilidad de los escombros lateríticos de la región de Moa.**

El **objeto de estudio** lo constituye la beneficiabilidad de los escombros lateríticos o residual sólido de la extracción minera del sector A de la empresa Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A.

Se plantea para el trabajo la siguiente **Hipótesis**: La determinación de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los escombros de la región de Moa permite analizar su beneficiabilidad para el futuro aprovechamiento de esta materia prima.

Como **objetivos** del trabajo se plantean los siguientes:

- 1.- **Caracterizar desde el punto de vista físico, químico y mineralógico, los escombros lateríticos de la región de Moa.**
- 2.- **Realizar un estudio de beneficiabilidad para el aprovechamiento integral de estos escombros.**

Mientras que los **objetivos específicos** son:

- 1.- Determinar la distribución granulométrica de los escombros lateríticos.
- 2.- Determinar la composición química y de fases de cada una de las fracciones granulométricas.
- 3.- Realizar un análisis fraccional magnético al material estudiado.
- 4.- Estudiar teóricamente, la separación de componentes útiles relacionando el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas.

## **1.2. Antecedentes y estado actual de la temática tratada.**

Los minerales lateríticos cubanos han sido objeto de estudio de diferentes investigadores, la mayoría de ellos encaminados a la recuperación del níquel y su incorporación a las plantas metalúrgicas existentes en Nicaro y Moa.

De forma general, los principales resultados de las investigaciones realizadas hasta el momento, han estado dirigidas a:

- ✓ La caracterización desde el punto de vista geológico, físico, químico y mineralógico, de los minerales lateríticos, principalmente, la laterita de balance y la serpentina, con el objetivo de un mayor aprovechamiento de estas materias primas, para la producción de níquel.



- ✓ La preparación y el beneficio de minerales lateríticos, para garantizar los índices metalúrgicos, principalmente de los procesos de sedimentación y lixiviación en la tecnología ácida a presión.
- ✓ La obtención de concentrados de cromo y hierro, fundamentalmente para la industria ferrosa.
- ✓ El desarrollo de tecnologías para la recuperación u obtención de determinados elementos presentes en los minerales lateríticos.

Una síntesis de los principales resultados de estas líneas de investigación se muestra a continuación:

Las primeras investigaciones sobre los escombros lateríticos de la región de Mayarí – Punta Gorda, se desarrollaron en el Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME), destacándose los trabajos de Swardjo, W, 1969 y Torralba, 1976, los cuales estuvieron dirigidos, fundamentalmente, al estudio de los yacimientos niquelíferos de Pinares de Mayarí y Martí con vista a la obtención de concentrados de hierro para la producción de arrabio y aceros.

Haciendo una caracterización, desde el punto de vista químico y mineralógico de las lateritas ferroniquelíferas del norte oriental, Vershinin S.A , et al, en 1984 plantean que en la composición mineral de éstas y de los ocres inestructurales predominan la goethita, la aluminogoethita, la maghemita, la hematita y la hidrargilita lo que coincide con los trabajos realizados por Blanco, J, 1985 y Rojas, A, 1995. La composición química se caracteriza por los siguientes contenidos medios: níquel, 0,6 a 0,7 %;  $Fe_2O_3$ , 60 %;  $Al_2O_3$ , 10 % ;  $Cr_2O_3$ , 2,5 % ;  $SiO_2$ , 3 % y  $MgO$ , 0,5 %, siendo los principales minerales portadores de níquel y de cobalto, fundamentalmente, la goethita y la hidrogoethita. En esencia, los autores caracterizan a estas lateritas como una mena de hierro con impurezas de níquel, cobalto y cromo.

Se ha demostrado que, mineralógicamente en los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey), predominan las fracciones mayores 80 micrones y las fases goethita, hematita, magnetita, maghemita e hidrargilita (hidróxidos de aluminio). (Ostroumov, M.N y Rojas, A, 1985).

Las características granulométricas de los escombros de la zona de Pinares de Mayarí, Martí en Nicaro y Atlantic en Moa, fueron investigadas por Mojena en 1986, seleccionándose las fracciones en que se concentran los mayores contenidos de hierro y cromo, sin establecerse un método específico de beneficio.

En el Centro de investigaciones para la industria minero metalúrgica (CIPIMM) y el Centro de Investigaciones siderúrgicas (CIS) de Nicaro se realizaron pruebas a escala de laboratorio y semindustrial utilizando escombros de las minas mencionadas anteriormente, sin embargo, no se definieron esquemas tecnológicos para el beneficio integral de estos materiales. En tanto que, la caracterización química y granulométrica de los escombros de la zona Atlantic, la realizó Ramírez, B, 1994; mientras que Hernández, M, en 1994 caracterizó, desde el punto de vista magnético, esta materia prima.

Peña, I y S, Rubio, en 1990 hicieron un estudio del beneficio de los escombros, sometiendo el mineral primeramente, a operaciones de trituración y cribado en ciclo cerrado con el objetivo de obtener un producto con una granulometría menor de 5 mm, el que luego fue alimentado a una criba pulsante hidráulica donde se obtuvieron tres productos, de los cuales, dos presentaron un contenido de hierro entre el 40 y el 50 % siendo el contenido de este elemento, para el tercer producto, entre el 20 y el 30 %. La fracción fina fue sometida a esquemas combinados de beneficio como: tostación magnetizante con separación magnética a bajas intensidades y ésta con flotación aniónica inversa. La separación magnética con la flotación no arrojó resultados satisfactorios; además con los reactivos utilizados en el proceso de flotación no se logró el beneficio de este mineral.

Almaguer, A y V, Zamarzry en 1993, haciendo un estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas, consideraron que:

- ✓ El tamaño de los granos juega un papel controlador en la mineralogía, la cual está en dependencia del tipo de zona litólogo-geoquímica.
- ✓ Las partículas finas, lamas, son importantes en cuanto a reservas volumétricas de Níquel y cobalto.

- ✓ El beneficio granulométrico en el tratamiento tecnológico de las menas con la obtención de tamaños de granos apropiados para diferentes fines, trae aparejado ventajas económicas a la industria y al aprovechamiento integral de las lateritas.

Coinciden, además con otros autores en que el hierro se encuentra en mayor medida en las fracciones más gruesas y en las más finas, siendo las principales fases portadoras, la hematita y las gibbsita. El comportamiento del níquel es similar al hierro por lo que se puede asegurar que estas fases también son portadoras de este elemento.

Falcón, J y A, Hernández en 1993, estudiando la preparación y el beneficio de los minerales lateríticos para el proceso de lixiviación ácida a presión, demuestran que, en el escombro los contenidos de níquel, hierro, óxido de cromo y cobalto son: 0,43% ; 50,1% ; 2,95 y 0,029%, respectivamente y que el aumento del hierro en la clase mayor de 0,83 mm es debido a la separación de los perdigones constituidos por aglomerados naturales con elevados contenidos de hierro, siendo la salida de esta clase 38,5%. También se observan contenidos elevados de este metal en las clases más finas.

En 1994, Duran y Angulo caracterizaron el escombro laterítico a través de un análisis fraccional magnético, utilizando las clases de tamaño:  $-0,4 + 0,074$  mm;  $-0,074 + 0,044$  mm y menores de 0,044 mm; así como intensidades de campo que oscilaron entre: 0-1 ; 1-3 ; 3-5 ; 5-7 y mayores de 7 A. En estas condiciones se comprobó que el cobalto y el manganeso se encuentran en mayor cuantía en la fracción  $-0,44 + 0,074$  mm lo que demuestra la posibilidad de la presencia de asbolanas en esta fracción.

Ramírez, M. y V. González, en el año 2000 caracterizaron las fracciones menores de 1,18 mm de los escombros lateríticos del sector A de la empresa Pedro Soto Alba Moa Níckel S.A, desde el punto de vista granulométrico y químico, estudiándose además la distribución del níquel, hierro y dióxido de silicio cuando es aplicado el método de separación magnética a intensidades de corriente de 1 – 7 A. Los resultados que se arrojan en este trabajo con relación al estudio de la densidad de las fracciones granulométricas, no debe tomarse como aspecto conclusivo en el caso de los escombros, por existir en estos una gran variedad de fases mineralógicas, que son portadoras de más de un elemento químico.

Una caracterización físico – química más amplia de estos escombros es realizada por Ramírez, M., J. Pons y A. Dos Santos en 2001. Los resultados granulométricos, mineralógicos y químicos que se obtuvieron coinciden, en gran medida, con los trabajos de Ostroumov y Rojas, 1985; Almaguer, A y V, Zamarzry, 1993 ; Falcón y Hernández, 1993 ; Duran y Angulo, 1994 ; Pons, Andrade y Gutiérrez, en 1995; entre otros, los que pueden constituir una regularidad de los escombros de la región de Moa.

Algunas vías para la utilización racional de las menas níquelíferas del norte oriental a partir del enfoque geólogo – tecnológico, son expuestas por Vershinin, S. A., et. al, en 1984, destacando el interés por el empleo, en calidad de menas de hierro, de los horizontes de lateritas y en particular, los escombros. Su empleo puede realizarse independientemente del proceso tecnológico que se emplee en las plantas de níquel y cobalto. Generalmente este horizonte forma las rocas de cobertura de los yacimientos níquelíferos que contienen 46 - 48 % de hierro; 0,6 – 0,8 % de níquel; 0,05 – 0,07 % de cobalto; 2 – 2,9 % de óxidos de cromo; 0,7 – 1,0 % de óxidos de manganeso; 7 – 15 % de alúmina; 2,7 – 3,4 % de sílice; 0,02 – 0,04 % de fósforo; 0,1 – 0,15 % de azufre; 0,04 – 0,05 % de vanadio y 0,1 – 0,8 % de óxido de magnesio. Sin embargo en una gran parte del horizonte de lateritas y de ocres inestructurales está desarrollado en forma de una capa independiente de mena compleja de níquel, cobalto y cromo – hierro. Una gran parte de las reservas en ellas (más de mil millones de toneladas), permiten considerar las lateritas como una fuente de materia prima segura, para la metalurgia ferrosa. Un producto intermedio puede ser la producción de perdigón (es necesario previamente el cribado de los fragmentos grandes hematita – goethita, su molienda y mezcla con la masa de ocres). El siguiente paso sería la aplicación de un esquema de reducción (fundición) en hornos giratorios tubulares y eléctricos y en convertidores. Otra vía de utilización la constituye el uso de las serpentinas para la producción de ferroníquel.

Por su parte, Vázquez, D, 1992, estudió dos esquemas para la obtención de concentrados de cromita a partir de la corteza de intemperismo de Pinares de Mayarí obteniéndose los mejores resultados en uno de estos esquemas. Las cromoespinelas se concentran en las clases intermedias lo que posibilita la separación de parte del cromo con el beneficio de las menas. El cobalto y el manganeso se comportan de la misma forma que en los trabajos realizados por autores como Duran y Angulo, 1994.

Los escombros lateríticos de los yacimientos niquelíferos de Pinares de Mayarí fueron estudiados también por Ortiz, J en 1990, el objetivo principal lo constituyó la obtención de concentrados de cromo e hierro, aplicando un proceso de tostación reductora. Un proceso similar lo realizó Guerra en 1991 a los escombros de la zona Atlantic en Moa, para la producción de ferrocromo aprovechando, precisamente, el alto contenido de hierro presente.

Pons, J ; S, Andrade y D, Gutiérrez, en 1995 realizaron un estudio preliminar de los escombros lateríticos del yacimiento Atlantic, para su posible utilización con fines siderúrgicos, utilizando esquemas que combinan diferentes operaciones de Beneficio como: lavado, cribado y beneficio gravitacional en mesas de concentración. Los resultados muestran que los mayores contenidos de hierro se encuentran en el espectro de partículas con diámetros entre 10 y 4 mm (52 – 53 %) y que los mayores valores de salidas corresponden a las fracciones  $-4+2,3$  mm (23,73%) y  $-2,3+0,83$  mm (22,34%); mientras que las mejores recuperaciones de hierro y cromo se obtienen en la fracción granulométrica  $-4 + 2,3$  mm.

La aplicación del beneficio con medios densos a los escombros lateríticos fue utilizado por Pons, J ; I. Pando, y Y. Sosa, 1995, caracterizándose las fracciones granulométricas mayores de 0,83 mm. Los resultados, en cuanto al contenido de los elementos y salidas de las clases de tamaño, son similares a los obtenidos por Pons, J, S, Andrade y D, Gutiérrez, en 1995, y no se alcanza la separación de los principales elementos con la aplicación del método densométrico.

Por medio del beneficio químico se puede lograr la preconcentración de algunos de los componentes de los minerales, tal es el caso del trabajo realizado por Menocal, Y y Rivero, M, 1995, donde por medio de la lixiviación ácida se logra recuperar el 25,9 % de manganeso y el 30,6 % del cobalto presentes en la fracción  $-0,47+0,074$  mm de los escombros lateríticos. En esta fracción se encuentran, en mayor medida, los minerales de manganeso (asbolanas). (Rojas, P,A, 1995).

Sin embargo, desde el punto de vista económico, este método no arroja resultados satisfactorios por el elevado costo de los reactivos empleados.

La recuperación del cobalto presente en la fracción menor de 0,83 mm de los escombros lateríticos, también ha sido estudiada a través de un esquema de lixiviación ácida a presión obteniéndose valores de extracciones muy atractivas, alrededor de 90 %. (Palacios, A, 2001), sin embargo, la tecnología propuesta no permite la recuperación del resto de los elementos metálicos presentes.

Los métodos clásicos para el estudio de la beneficiabilidad del escombros laterítico no permiten obtener la información real de su posible tratamiento mecánico dada la complejidad mineralógica del material. La separación de este material en varios componentes considerando una sola propiedad de separación es imposible, Coello, A, et. Al, 1998. Una vía para el análisis teórico del beneficio de los minerales la constituye la Teoría de separación del profesor O.N. Tijonov la cual se sustenta en la distribución fraccional de los componentes y las fases minerales, en función de las propiedades físicas y físico – químicas y las características de separación.

Coello, A, en 1998 realiza un análisis fraccional de los escombros lateríticos utilizando, como propiedades físicas para la separación de componentes, el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas. En el mismo se caracteriza el escombros laterítico para su preconcentración mecánica a través de la determinación de las funciones de distribución  $\gamma(\xi)$  y  $\beta(\xi)$  planteándose que, de acuerdo a las regularidades que siguen las funciones de distribución considerando una sola propiedad, solo es posible separar fracciones enriquecidas en níquel e hierro por el tamaño y níquel, cobalto, hierro y manganeso, tomando como propiedad de separación la susceptibilidad magnética, sin embargo, ninguno de los casos responde a las exigencias tecnológicas de un preconcentrado. La utilización del enfoque fraccional por más de una propiedad de separación, pronostica la posibilidad de su procesamiento mecánico para la obtención de un preconcentrado de hierro y cobalto; las funciones de distribución  $\gamma(l,I)$  y  $\beta(l,I)$  por el tamaño y la susceptibilidad magnética así lo demuestran. Se exponen, además, los modelos de distribución según los cuales, teóricamente, se pueden establecer los principales índices tecnológicos de la separación.

Así mismo, Hernández, A, et al, en el año 2000 en un análisis teórico del beneficio de la mena laterítica toman también, como propiedades contrastantes, el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas, estableciéndose los principales índices

tecnológicos de la separación cuyos resultados muestran que es posible un incremento de níquel hacia el producto fino de la separación en 0,08 % y una disminución del contenido de aluminio y magnesio de 0,46 y 0,15 % respectivamente lo que es muy beneficioso para el proceso de lixiviación ácida. Además, el producto magnético se caracteriza por un alto contenido de cobalto.

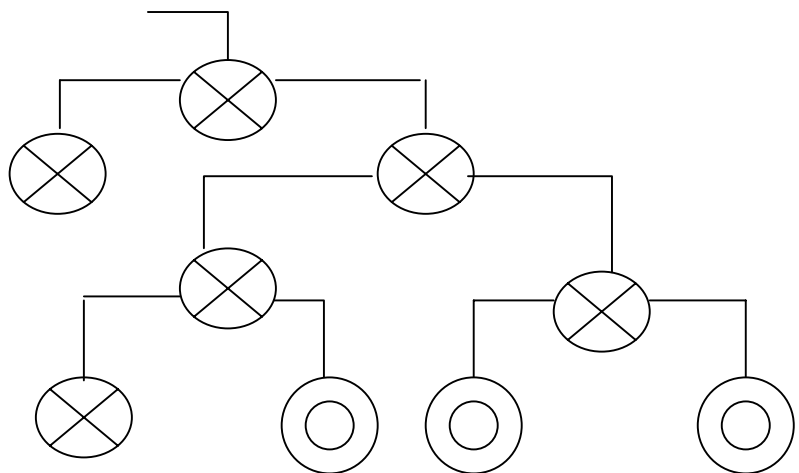
Como se puede observar, resulta insuficiente el conocimiento que se tiene, en cuanto a propiedades físicas y físico – químicas, de los escombros lateríticos de Zona A, lo que impide establecer las regularidades de los escombros lateríticos de la región de Moa para la selección de métodos y esquemas de beneficio que permitan el aprovechamiento de los elementos valiosos presentes en ellos. Por otra parte, estos desechos constituyen un foco de contaminación ambiental en la ciudad de Moa; su utilización mitigaría en gran medida los efectos ecológicos del entorno.

## Capítulo I. Materiales y Métodos

### 1.1 Selección y preparación de las muestras.

La muestra estudiada fue tomada de diferentes pozos representativos, desde el punto de vista litológico, de la zona A en la mina de la empresa Comandante “Pedro Sotto Alba” Moa Nickel S.A. que se encuentra situada al sur del campo menífero Moa.

La muestra experimental, con una masa de 80 kg , fue sometida a un proceso de homogeneización en el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, aplicándose el método del cono y el anillo según se muestra en la figura 1.



**Figura 1. Método de cuarteo empleado.**

Las muestras fueron analizadas granulométricamente por vía seca y húmeda. El análisis fraccional magnético se realizó en un separador tubular (tubo de Davi) y en uno electromagnético del tipo de rodillo.

Tanto las fracciones de tamaño, como las de intensidades del campo magnético, se sometieron a análisis químico y mineralógico, utilizándose las técnicas de difracción y fluorescencia de rayos X, respectivamente.



## **1.2. Técnicas analíticas y experimentales utilizadas.**

### **1.2.1. Análisis químico.**

Con el objetivo de determinar el contenido de los elementos químicos presentes, en las muestras de cabeza, en los productos del análisis granulométrico y de la separación magnética, fueron realizados los análisis químicos en el laboratorio central de la empresa Pedro Sotto Alba de Moa, utilizándose la técnica de fluorescencia de Rayos X que permitió determinar, con una alta confiabilidad, los contenidos de los siguientes elementos: hierro, níquel, cobalto, cromo, magnesio, manganeso, aluminio, dióxido de silicio, cinc y cobre.

Las características técnicas del equipo utilizado son las siguientes: X – Ray Spectrometer, marca Phillips, tipo PW 1480, serie Dy 837.

Los resultados aparecen en la tabla 3 del Capítulo II donde se puede observar una gran coincidencia en la composición química de estos escombros con la de otros escombros de la región Mayarí – Moa que han sido estudiados por diferentes investigadores como: Widodo, 1969; Torralba, 1976; Mojena en 1986; Ortiz, 1990 y Coello, A, en 1998 entre otros.

### **1.2. 2. Análisis granulométrico.**

La determinación de la composición granulométrica del material se realizó por vía húmeda y por vía seca para un espectro de diámetro de partículas entre 8 y 0,074 mm. Los tamices fueron escogidos según la serie de Taylor  $\sqrt{2}$  y teniendo en cuenta investigaciones similares realizadas por Ramírez, B., 1994 ; Coello, A., 1998 y Palacios, A., 2001 en el tratamiento de los escombros lateríticos. El análisis granulométrico permitió comparar la distribución de las partículas en todo el material así como el comportamiento de las partículas finas principales portadoras de los minerales de níquel y otros elementos valiosos como el aluminio. (Almaguer, A, 1995).

### 1.2.3. Análisis Mineralógico.

Con el objetivo de determinar las principales fases mineralógicas presentes en cada una de las fracciones granulométricas obtenidas, se realizó el análisis mineralógico a través de la técnica de difracción de rayos X.

Los análisis se realizaron en el laboratorio central de la empresa Pedro Sotto Alba de Moa, empleándose un Difractómetro de marca Phillips tipo PW1840 con  $K\alpha$  de cobre, bajo las siguientes condiciones de trabajo:

- Rendija (detector): 0,05 mm
- Tiempo por pasos: 1.000 S
- Números de pasos: 2750
- Velocidad de exploración:  $0,02^{\circ} 2\theta /S$
- Condiciones eléctricas: 30 mA y 40 kV
- Se empleó un campo de exploración  $2\theta$ , con un ángulo de variación de  $5-60^{\circ}$
- Tamaño de partículas menores de 44  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 325 de la serie A.S.T.M.).

Para el procesamiento de los diferentes difractogramas obtenidos se utilizó el software "REGINTEL", Torres, O., 1996, acoplado al equipo de difracción de rayos X.

### 1.2.4. Separación magnética.

La variación de los contenidos de los elementos químicos en función de la intensidad de corriente aplicada, fue analizada a través de un análisis fraccional magnético realizado en el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las intensidades de corriente estudiadas fueron: 0,5 A ; 1 A ; 2 A y 3 A. El análisis se realizó por vía seca para las fracciones: -3,15+2,2 mm; -2,2+1,25mm; -1,25+0,51mm y -0,51+0,25 mm utilizando un separador de Rodillo marca 13b-C $\partial$  con alimentación inferior. Este separador sirve para el enriquecimiento en seco de pequeñas muestras pesadas de minerales y materiales débilmente magnéticos.

El separador tiene un rodillo de 100mm de diámetro y 80mm de longitud; la intensidad del campo alcanza 950 k A / m ; la corriente en el drenado varía hasta 4 A y el peso del separador es 149 Kg. Las dimensiones exteriores son las siguientes:

- Longitud ----- 900 mm.
- Ancho ----- 520 mm.

➤ Altura ----- 545 mm.

Las fracciones finas:  $-0,25+0,074$  mm y  $-0,074$  mm fueron separadas por vía húmeda en un analizador tubular (tubo de Davis), el cual presenta un núcleo magnético de hierro blando que está asegurado al banco del equipo. La bobina es alimentada por corriente de 110 V desde un rectificador de corriente en que se realiza su regulación a través de un reóstato. Entre los polos magnéticos del núcleo se coloca el tubo de vidrio montado sobre carriles tensores, bajo un ángulo de 45 grados. El motor eléctrico, mediante la transmisión correspondiente, pone en movimiento alternativo los carriles tensores.

La conveniencia de emplear la separación magnética por vía húmeda, para partículas muy finas, radica en la posibilidad de incurrir en errores cuando estas son sometidas a la separación en seco.

### **1.2.5. Teoría de separación de componentes útiles. (Teoría de Tijonov ).**

Los procesos de beneficio tienen como objetivo primordial separar, por métodos mecánicos, los minerales útiles de la materia prima. Esta separación ocurre de acuerdo a las propiedades físicas de las partículas que integran el material inicial. Las partículas con determinadas características pasan al concentrado mientras que otras quedan en la cola o desecho.

El esquema de beneficio puede tener en cuenta sólo una propiedad física (densidad, tamaño, susceptibilidad magnética, etc.) o actuar sobre varias de ellas pudiendo medirse la efectividad del proceso analizando la distribución inicial del componente útil en la materia prima y su distribución en el concentrado final.

La propiedad física  $\xi$  se puede considerar como una variable aleatoria, al tomar muestras de partículas de forma casual y midiendo  $\xi$  para cada una de ellas, los resultados serán diferentes y aleatorios expresando con ello la heterogeneidad del mineral inicial con respecto a  $\xi$ .

La función  $\varepsilon(\xi)$  es la característica principal de cualquier separador; conociendo  $\varepsilon(\xi)$  y la distribución de probabilidades  $\gamma(\xi)$ , se pueden predecir los resultados de la

separación, las concentraciones del mineral útil en el concentrado y en las colas, y otros parámetros necesarios para evaluar la efectividad del beneficio.

El porcentaje en masa de partículas que pasan al concentrado con respecto a la masa total será:

$$\bar{\gamma}_{\text{conc}} = 100 \int_{\rho_{\text{min}}}^{\rho_{\text{max}}} \gamma(\xi) \varepsilon(\xi) d\xi \quad (1)$$

La concentración del componente útil en el mineral inicial y en el concentrado final se obtienen a través de:

$$\bar{\beta}_{\text{inic}} = \int_{\xi_{\text{min}}}^{\xi_{\text{max}}} \beta(\xi) \gamma(\xi) d\xi \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_{\text{conc}} = \frac{100}{\gamma_{\text{conc}}} \int_{\rho_{\text{min}}}^{\rho_{\text{max}}} \beta(\xi) \varepsilon(\xi) \gamma(\xi) d\xi \quad (3)$$

La suma de estas proporciones equivale a la cantidad de todo el concentrado con respecto a la alimentación inicial y la multiplicación por 100 permite expresar este valor en porcentaje.

De esta manera los parámetros de partida resultan las funciones  $\gamma(\xi)$  y  $\beta(\xi)$  que caracterizan las partículas de la materia prima mineral por sus propiedades físicas y por el contenido de componente útil en ellas. Estos valores junto a  $\varepsilon(\xi)$ , que resulta la característica principal del equipo de beneficio, no solo permiten el cálculo de los indicadores clásicos del beneficio, sino también se puede realizar el pronóstico de los índices tecnológicos de cualquier esquema de beneficio: la salida  $\bar{\gamma}_{\text{conc}}$ , el contenido  $\bar{\beta}_{\text{conc}}$  y la recuperación  $\bar{\varepsilon}_{\text{conc}}$ .

$$\bar{\varepsilon}_{\text{conc}} = \frac{\bar{\gamma}_{\text{conc}} \cdot \bar{\beta}_{\text{conc}}}{\bar{\beta}_{\text{inic}}} \quad (4)$$

Independientemente de la propiedad de separación.

Por tal razón, las funciones  $\gamma(\xi)$  y  $\beta(\xi)$ , constituyen un medio sencillo y suficiente para la caracterización de cualquier materia prima mineral o producto. Cualquier otro método resulta excesivamente complicado, como es el caso de las curvas de

beneficiabilidad, cuando los componentes se diferencian por más de dos propiedades físicas como es el caso de los minerales lateríticos.

Si el proceso de separación tiene en cuenta más de una propiedad física, éste se expresa mediante un vector  $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ , para lo cual las fórmulas correspondientes serían entonces:

$$\bar{\gamma}_{\text{conc}} = 100 \int \int \dots \int \gamma(\xi_1, \dots, \xi_n) \varepsilon(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (5)$$

$$\bar{\beta}_{\text{inic}} = \int \int \dots \int \beta(\xi_1, \dots, \xi_n) \gamma(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (6)$$

$$\bar{\beta}_{\text{conc}} = \frac{100}{\gamma_{\text{conc}}} \int \int \dots \int \beta(\xi_1, \dots, \xi_n) \varepsilon(\xi_1, \dots, \xi_n) \gamma(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (7)$$

De esta forma se pudo analizar el beneficio de esta materia prima, tomando como propiedades físicas: el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas, determinándose los principales índices tecnológicos del proceso (salida, contenido y recuperación) para los elementos: níquel, cobalto, cromo, hierro y aluminio.

## **Capítulo II. Análisis de los resultados de la caracterización.**

### **2.1. Caracterización granulométrica.**

Las muestras seleccionadas según la figura 1, fueron sometidas al análisis granulométrico por las vías seca y húmeda, enmarcándose el espectro de partículas estudiadas entre 8mm y 0,074mm. La realización de este análisis por dos vías diferentes, permite hacer una comparación de los resultados obtenidos y analizar la distribución de las partículas finas presentes en este material.

Como se puede apreciar, en el análisis granulométrico por vía seca (ver tabla 1), la salida de la clase  $-1,25+0$  mm representa el 45,07 % de todo el material, sin embargo, en el análisis realizado por vía húmeda (tabla 2), la salida de esta clase aumenta hasta un 66,13 %, lo que evidencia una distribución de las partículas finas en todo el espectro granulométrico estudiado, aspecto que corrobora los resultados obtenidos por diferentes autores al estudiar materias primas similares en la región de Moa. (Ramírez, M, 2000; Coello, A, et al, 1998).

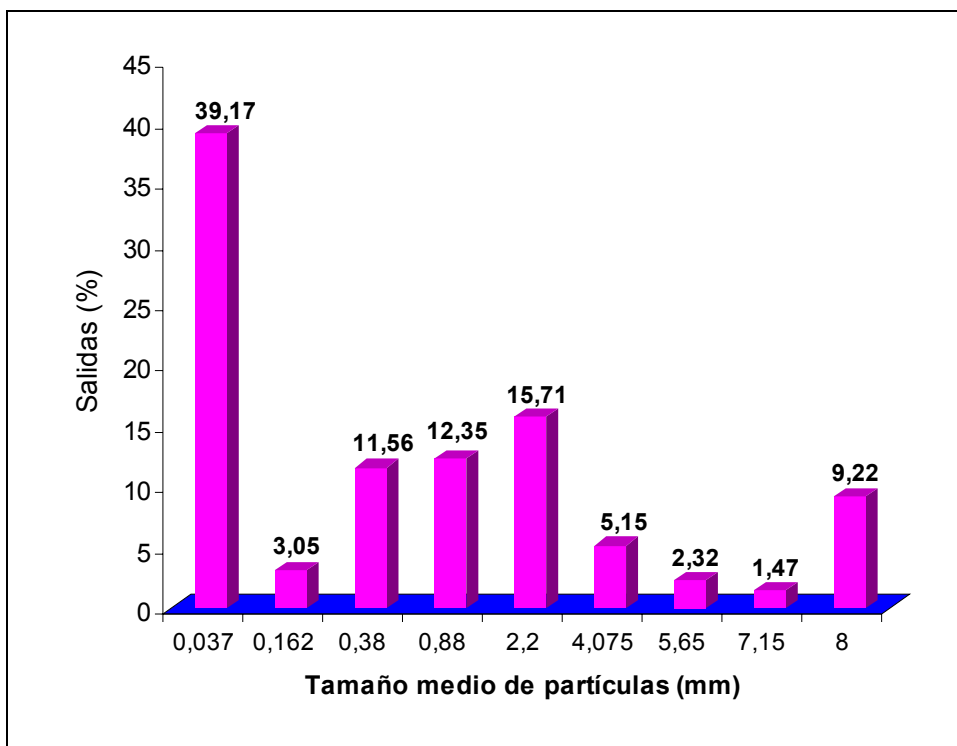
**Tabla 1. Composición granulométrica promedio del escombros de Zona “A “. Vía seca.**

<b>Clases de tamaño (mm)</b>	<b>Salida <math>\gamma</math> (%)</b>	<b>Salida sumaria (%)</b>	
		<b>Retenido</b>	<b>Cernido</b>
+8	17,11	17,11	100
-8,0+6,3	3,62	20,73	82,89
-6,3+5,0	4,89	25,62	79,27
-5,0+3,15	6,92	32,54	74,38
-3,15+1,25	20,39	52,93	67,46
-1,25+0,51	15,88	68,81	45,07
-0,51+0,25	15,82	84,63	31,19
-0,25+0,074	2,16	87,79	15,37
-0.074	13,21	100	13,21
Total	100		

**Tabla 2. Composición granulométrica promedio del escombro de Zona “A “. Vía húmeda.**

Clases de tamaño (mm)	Salida $\gamma$ (%)	Salida sumaria (%)	
		Retenido	Cernido
+8	9,22	9,22	100
-8,0+6,3	1,47	10,69	90,78
-6,3+5,0	2,32	13,01	89,31
-5,0+3,15	5,15	18,16	86,99
-3,15+1,25	15,71	33,87	81,84
-1,25+0,51	12,35	46,22	66,13
-0,51+0,25	11,56	57,78	53,78
-0,25+0,074	3,05	60,83	42,22
-0.074	39,17	100	39,17
Total	100		

La distribución de las partículas de diferentes tamaños, está reflejada en la figura 2 que representa la característica parcial del material estudiado.



**Figura 2. Característica parcial del escombro de zona “A “.**

En ella se observa que, de igual forma que en los escombros lateríticos de otros yacimientos de la región de Moa (Sosa, A, 1978; Ostroumov, Rojas y Sánchez, 1985), estos están caracterizados por partículas mayores de 80  $\mu$  m agrupando el 60,83 % de todos los granos que componen el material; en estas partículas se encuentran en mayor cuantía las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm que alcanzan el 39,62 % de todo el material, es decir, existe un predominio de partículas con estos tamaños.

En estas fracciones se nota un ligero incremento del contenido de aluminio (entre 8,57 y 8,85 %) con respecto al resto de las clases (ver tabla 3).

En las partículas mayores de 1,25 mm se concentran los llamados perdigones, utilizados experimentalmente en los procesos siderúrgicos (Pons, J. H et al, 1995, 1996 y 1997) y que constituyen objeto de actuales investigaciones con vistas a darles un uso más eficiente (Ramírez, M. et al, 2001). Estas partículas se caracterizan por presentar un elevado contenido de hierro (entre 45 y 47 %) y otros elementos en forma oxidada como níquel, cobalto, y cromo, como se puede apreciar en la tabla 3.

De utilizarse a mayor escala estos perdigones, se obtendrían por vía seca y húmeda de estas partículas, entre el 52 y 34 % respectivamente, aspecto que se debe tener en cuenta para definir los posibles esquemas de preparación de esta materia prima.

En cuanto a las partículas más finas, menores de 0,25 mm, estas están distribuidas en todo el material observándose un incremento de las mismas cuando se realiza el cribado por vía húmeda. Específicamente, las menores de 0,074 mm, aumentan de 13,21 % hasta 39,17 % cuestión que caracteriza a los escombros lateríticos de la región de Moa y que se corresponde con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores (Sosa, A, 1978; Ostroumov, Rojas y Sánchez, 1985 ; Ramírez, B, 1994 ; Ramírez, M, 2000, entre otros).

Estas partículas finas son contenedoras de minerales arcillosos en las que están presentes el aluminio, magnesio y el silicio. El cobalto junto con el manganeso manifiesta una tendencia similar que supone la presencia de las asbolanas (Palacios, A, 2001).



En resumen, los escombros lateríticos del yacimiento Zona “A “están caracterizados por partículas mayores de 80  $\mu$  m entre las que predominan las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm.

## 2.2. Caracterización química.

Los resultados de los análisis químicos realizados a la muestra inicial y a las fracciones granulométricas aparecen reflejados en la tabla 3.

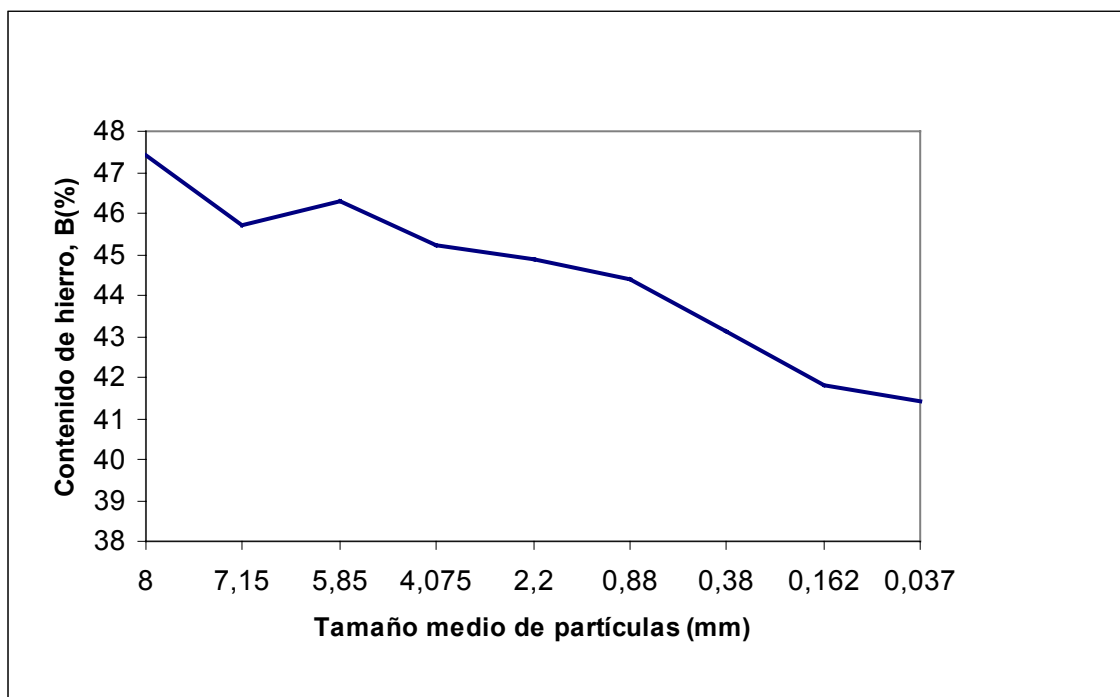
**Tabla 3. Composición química promedio del escombros de la Zona “A “.**

Clases de tamaño (mm)	Contenido de los elementos químicos, $\beta$ (%)									
	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
+8	0,45	0,016	47,4	0,22	6,90	1,69	2,20	0,07	0,010	0,023
-8+6,3	0,39	0,012	45,7	0,27	7,71	1,68	2,01	0,07	0,008	0,021
-6,3+5	0,39	0,011	46,3	0,23	7,54	1,68	2,12	0,06	0,009	0,019
-5+3,15	0,38	0,010	45,2	0,22	8,10	1,58	1,92	0,07	0,008	0,019
-3,15+1,25	0,39	0,010	44,9	0,22	8,57	1,60	2,00	0,07	0,009	0,019
-1,25+0,51	0,36	0,007	44,4	0,22	8,59	1,56	2,04	0,06	0,008	0,021
-0,51+0,25	0,35	0,008	43,1	0,22	8,85	1,56	1,73	0,07	0,010	0,019
-0,25+0,074	0,35	0,010	41,8	0,24	8,35	1,70	1,53	0,08	0,010	0,023
-0,074	0,35	0,010	41,4	0,26	8,42	1,76	1,6	0,09	0,011	0,022
<b>Cabeza</b>	<b>0,40</b>	<b>0,027</b>	<b>43,5</b>	<b>0,25</b>	<b>8,27</b>	<b>1,75</b>	<b>1,99</b>	<b>0,17</b>	<b>0,008</b>	<b>0,019</b>

La distribución de los principales elementos analizados en las diferentes fracciones granulométricas, se exponen a continuación.

### 2.2.1. Variación del contenido de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas.

La figura 4 muestra la variación del contenido de hierro en las diferentes fracciones de tamaño.



**Figura 4. Contenido de hierro en las fracciones granulométricas.**

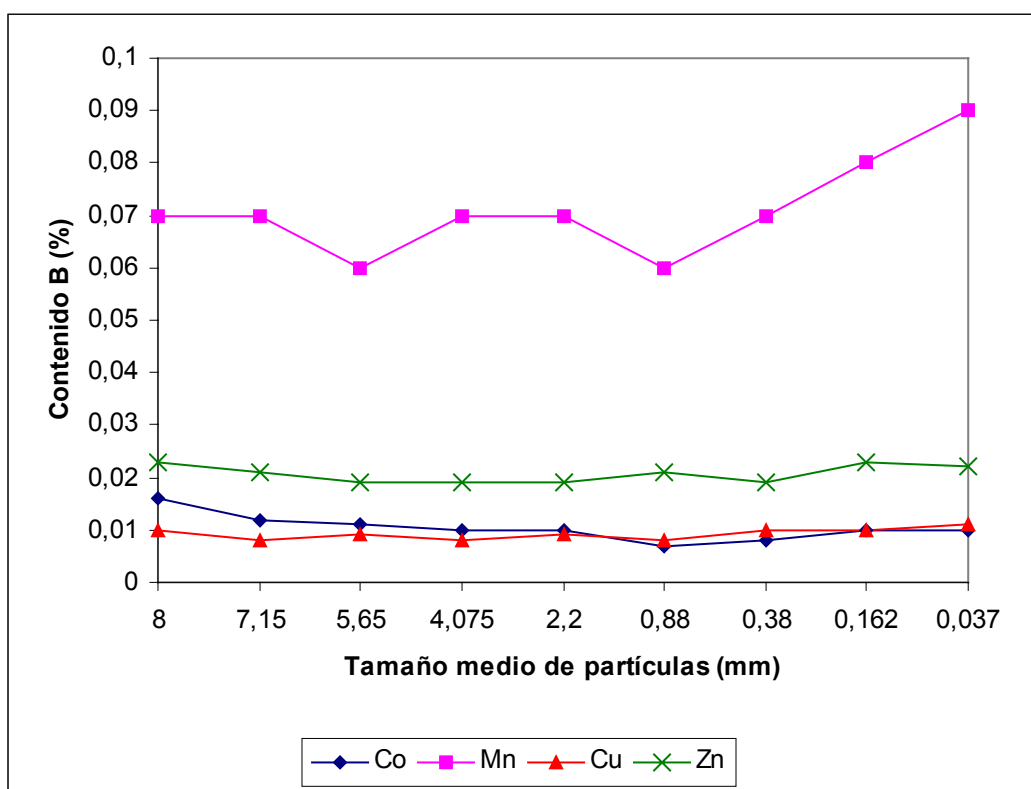
Los mayores contenidos de este elemento (45% - 47 %) se encuentran principalmente en las fracciones gruesas (+8, -8+6.3, -6.3+5 y -5+3,15 mm), disminuyendo hacia las más finas, hasta alcanzar valores de 41,4 %.

Este comportamiento del hierro es característico de este tipo de material y coincide con trabajos realizados anteriormente. (Amador y Gallardo, 1996; Andrade y Gutiérrez, 1995; Pando y Sosa, 1995 y Ramírez, B, 1994; entre otros).

La presencia mayoritaria del hierro y su amplia distribución en el perfil granulométrico estudiado justifican, en cierto modo, la presencia de goethita, hidrogoethita y hematita como fases principales en los escombros lateríticos. (Rojas, A y Carballo, A, 1993).

En la figura 5 se muestra el comportamiento del manganeso, cobalto, cobre y cinc. El manganeso se distribuye uniformemente variando su contenido desde 0,06 hasta 0,09 % desde las fracciones más gruesas hacia las más finas, mientras que en el cobalto se observa el mayor contenido en la fracción +8 mm (0,016 %), descendiendo a medida que disminuye el tamaño de las partículas, sin embargo, en las fracciones -0,25+0,074 mm y -0,074 mm existe un aumento discreto en el contenido de este metal. Esta

correlación del cobalto y del manganeso en las fracciones finas está reportada en los trabajos de Almaguer y Zamarzry en 1993, demostrándose que el cobalto está asociado a los óxidos e hidróxidos impuros de manganeso (asbolanas) lo que se corrobora además, en el análisis de fases realizado a las diferentes fracciones de este escombros y que coincide con las investigaciones realizadas por Palacios. A, 2001.

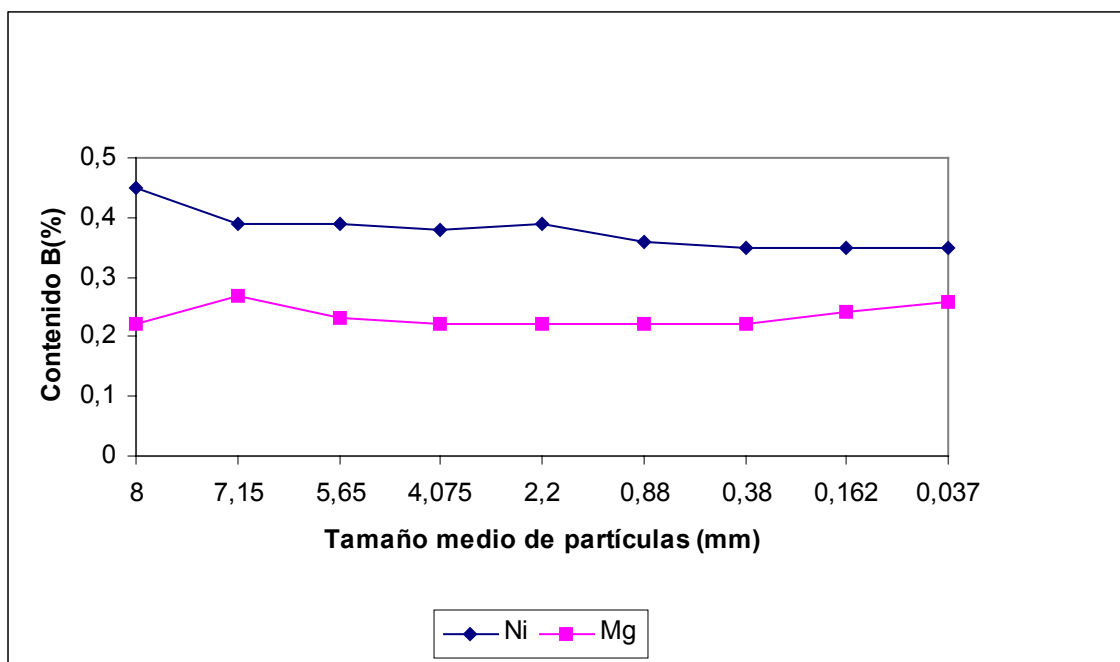


**Figura 5. Contenido de los elementos cobalto, manganeso, cobre y cinc en las fracciones granulométricas.**

En el caso del cobre, su rango de variación es pequeño, con una tendencia a aumentar en las fracciones menores de 0,25 mm, coincidiendo con el comportamiento que experimenta el cinc, el cual varía muy poco en el espectro granulométrico, verificándose un aumento en las fracciones gruesas (+6mm) y en las menores de 0,25 mm, disminuyendo en las fracciones intermedias donde su contenido oscila entre 0,19 y 0,21%.

La variación que experimentan el níquel y el magnesio se muestra en la figura 6. En la misma se observa que el mayor contenido de níquel se encuentra en la fracción mayor

de 8 mm (0,45 %) disminuyendo regularmente hacia las fracciones más finas, desde 0,39 hasta 0,35 %.

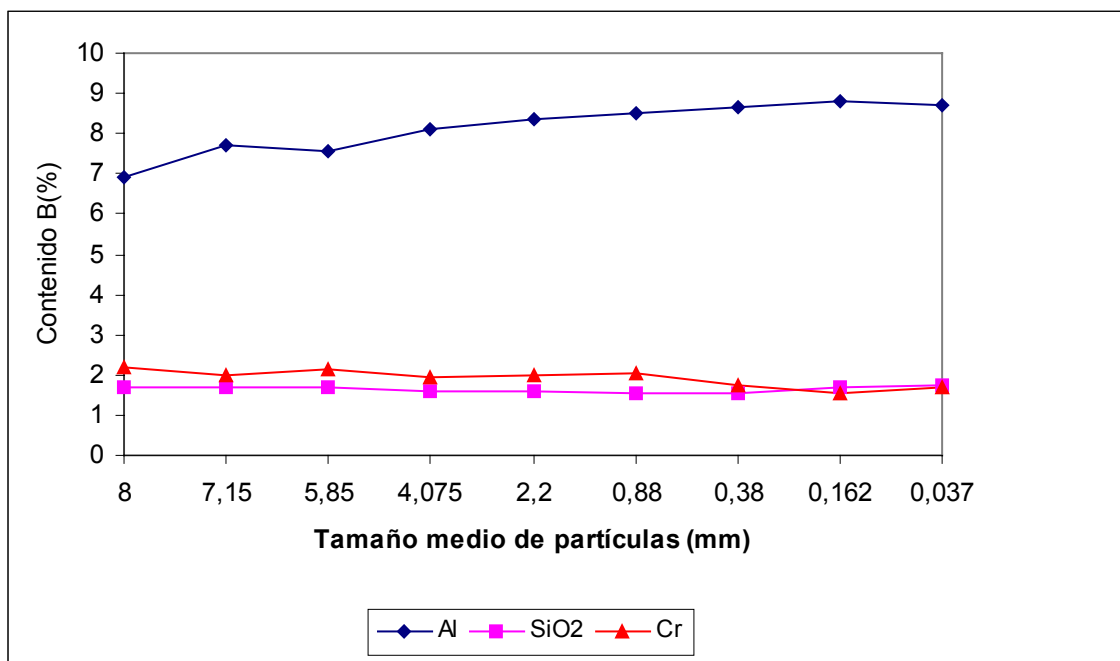


**Figura 6. Contenido de los elementos níquel y magnesio en las fracciones granulométricas.**

El comportamiento de este elemento en las fracciones gruesas del escombro, está relacionado con la presencia de la goethita como principal fase portadora de níquel al igual que de hierro, existiendo una dependencia directa entre ambos, lo que reafirma los resultados de Rojas, A y Carballo, A, 1993; Almaguer y Zamarzry, 1993 y Rojas P.A, 1994.

Por su parte, el magnesio alcanza su mayor porcentaje (0,27 %) en la fracción  $-8 +6,3$  mm con un comportamiento prácticamente uniforme en el resto de las fracciones, hasta alcanzar valores de 0,26 % en las clases menores de 0,074 mm.

El cromo y la sílice tienen un comportamiento similar como se ilustra en la figura 7; sus mayores contenidos se encuentran en las fracciones mayores de 5 mm, sin embargo, la sílice se incrementa en las fracciones menores de 0,25 mm.



**Figura 7. Contenido de los elementos aluminio, cromo y dióxido de silicio en las fracciones granulométricas.**

El comportamiento de este elemento en las fracciones gruesas del escombro, está relacionado con la presencia de la goethita como principal fase portadora de níquel al igual que de hierro, existiendo una dependencia directa entre ambos. (Rojas, A y Carballo, A, 1993 ; Almaguer y Zamarzry, 1993 y Rojas P.A, 1994).

Por su parte, el magnesio alcanza su mayor contenido (0,27 %) en la fracción  $-8 +6,3$  mm con un comportamiento prácticamente uniforme en el resto de las fracciones, hasta alcanzar valores de 0,26 % en las clases menores de 0,074 mm.

Resumiendo los resultados de la caracterización química se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- En las fracciones gruesas, específicamente las mayores de 5 mm, se concentran los mayores contenidos de hierro, níquel, cobalto y cromo, lo que está dado por la existencia de las fases hematita, goethita e hidrogenoethita y cromita en estas fracciones y que son portadoras de dichos elementos, corroborándose así los resultados de los estudios de mineralogía realizados por diferentes investigadores a los que se ha hecho referencia anteriormente.

- El magnesio, el dióxido de silicio y el aluminio tienen un comportamiento similar, concentrándose en las fracciones más finas, lo que justifica la presencia de minerales arcillosos que acompañan a estos materiales y cuyas fases principales son las gibbsitas.
- El cobre, el zinc y el manganeso varían poco entre las fracciones granulométricas, observándose un ligero incremento hacia las fracciones más finas, sin embargo, en el caso del cinc, se observan también contenidos elevados en las fracciones más gruesas. El comportamiento del manganeso en las fracciones finas junto con el cobalto, justifica la presencia de las asbolanas en los escombros.

### 2.3. Caracterización mineralógica.

Los resultados del estudio por difracción de rayos X, realizado a las diferentes fracciones granulométricas de los escombros lateríticos de zona A, permitió identificar las principales fases mineralógicas presentes en estos materiales. Su descripción se muestra a continuación.

#### **Fracción +10 mm.**

En el difractograma correspondiente a esta fracción aparecen picos con distancias interplanares de 4,15 Å; 2,68 Å y 2,43 Å correspondientes a la fase goethita, mineral portador de hierro. Se observan además, otros valores de distancias igual a 2,68 Å; 2,50 Å y 1,71 Å que indican la presencia de la fase hematita, que de la misma forma que la goethita, corresponde a un mineral de hierro.

Teniendo en cuenta el resultado de los análisis químicos realizados, podemos asegurar que estas fases están presentes en esta fracción granulométrica pues los mayores contenidos de hierro se encuentran en las partículas más gruesas.

El pico con distancia igual a 4,85 Å pudiera indicar la presencia de gibbsita pues este es el valor más intenso para esta fase, sin embargo, no aparecen otros que justifiquen su presencia en esta fracción. ( ver figura 1 de los anexos ).

Se observan también en el difractograma valores de distancias igual a 1,83 Å y 1,80 Å pertenecientes al cuarzo, sin aparecer el valor 3,34 Å que es el de mayor intensidad u otros que ratifiquen su presencia.

Las cromoespinelas son minerales a los que se encuentran asociados el hierro, el cromo y el aluminio. Su pico más intenso de 2,52 Å y otros de menor intensidad como 4,82 Å y 1,60 Å, aparecen en esta figura indicando la presencia de estos minerales en la fracción granulométrica que analizamos.

### Fracción -10+8 mm.

El análisis mineralógico realizado a esta fracción granulométrica arrojó resultados similares a la clase +10 mm como se muestra en la figura 8.

La fase principal que aparece es la goethita con varios picos característicos, entre ellos 4,15 Å que es el más intenso. Solo aparecen dos valores de distancias que pudieran indicar la presencia de hematita, sin embargo, por el contenido de hierro tan elevado en estas fracciones, además de níquel y cobalto (0,45 y 0,016 % respectivamente) que están asociados a la hematita, se puede afirmar la presencia de esta fase en la clase de tamaño -10+8 mm.

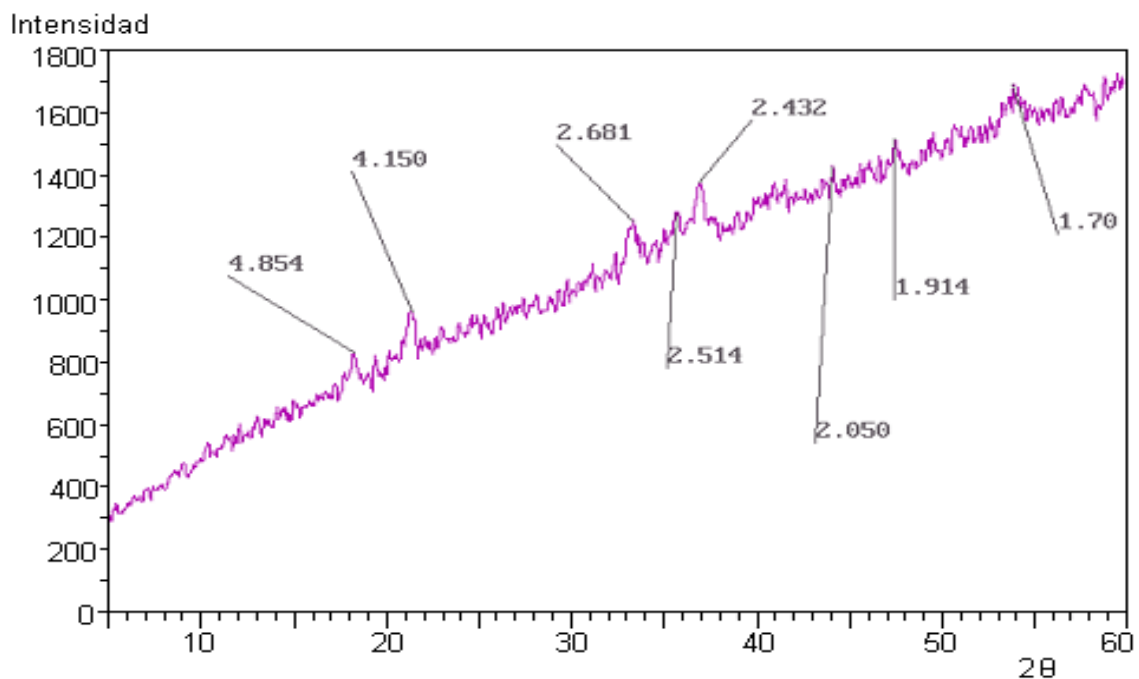
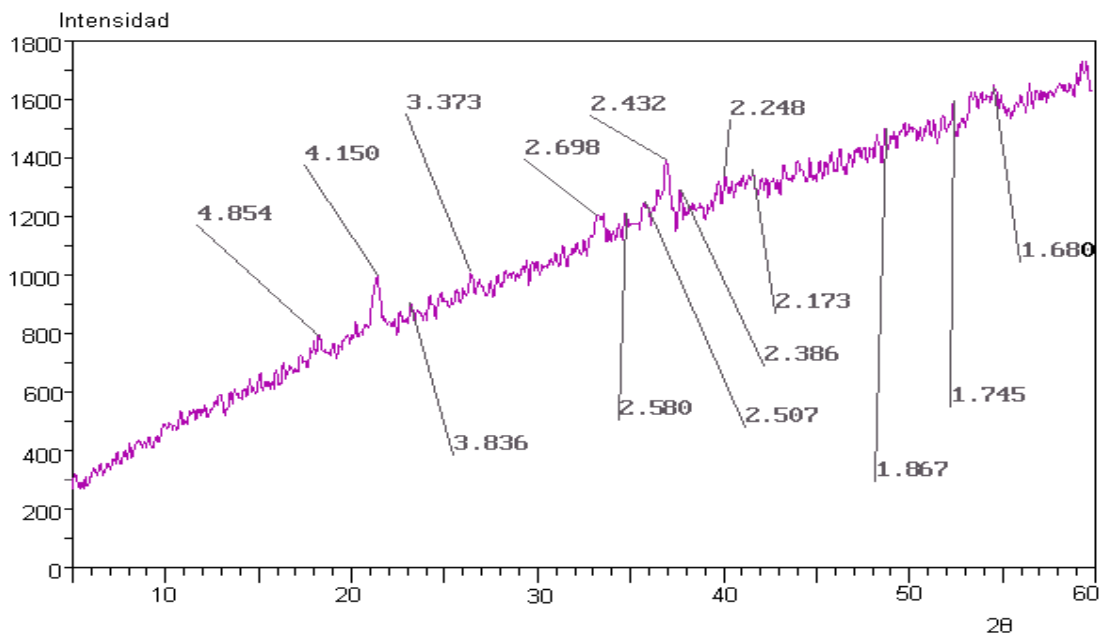


Figura 8. Diffractograma correspondiente a la fracción -10+8mm.

### Fracción -8+6 mm.

El difactograma correspondiente a esta fracción se muestra en la figura 9. Se observa, al igual que en las fracciones anteriores, la presencia de goethita y de hematita como fases principales. También se destacan picos correspondientes a las cromitas (2,508 Å, 2,507 Å y 4,85 Å); precisamente, en las fracciones mayores de 6 mm es donde se encuentran los mayores contenidos de cromo (2,20 y 2,01 %), este hecho confirma la existencia de esta fase en esta fracción.



**Figura 9. Difractograma correspondiente a la fracción -8+6 mm.**

Las distancias de 1,867 Å y 3,373 Å indican la presencia del cuarzo, considerando además, el elevado contenido de sílice (1,68 %).

### Fracción -6+5 mm.

En esta fracción granulométrica sobresale la presencia de la goethita como fase principal, y de las cromoespinelas, como se muestra en la figura 2 de los anexos, donde se pueden observar distancias interplanares que así lo demuestran. Estas fases están relacionadas con los elevados contenidos de cromo, hierro y aluminio, características de esta materia prima.

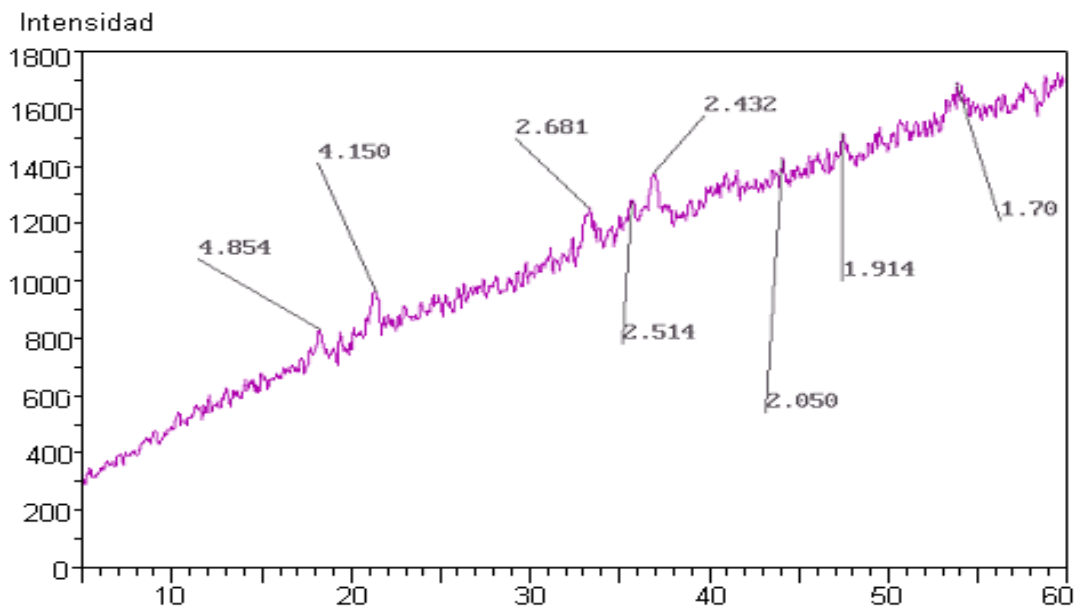


**Fracción -5+4 mm.**

De igual forma se presentan las fases goethita y hematita en esta fracción. Su distancias interplanares aparecen reflejadas en la figura 3 de los anexos, confirmando el predominio de ellas en los escombros lateríticos.

**Fracción -4+2,3 mm.**

En el difractograma de esta fracción (figura 10) aparecen los picos con valores de distancias iguales a 4,15 Å y 2,68 Å que pudieran indicar la presencia de goethita, sin embargo el valor 2,68 Å coincide con el más intenso para la hematita apareciendo además, dos valores de difracción correspondientes a dicha fase. De ahí que puede afirmarse la presencia de hematita, siendo menos probable la existencia de espinelas y aún menos del cuarzo.

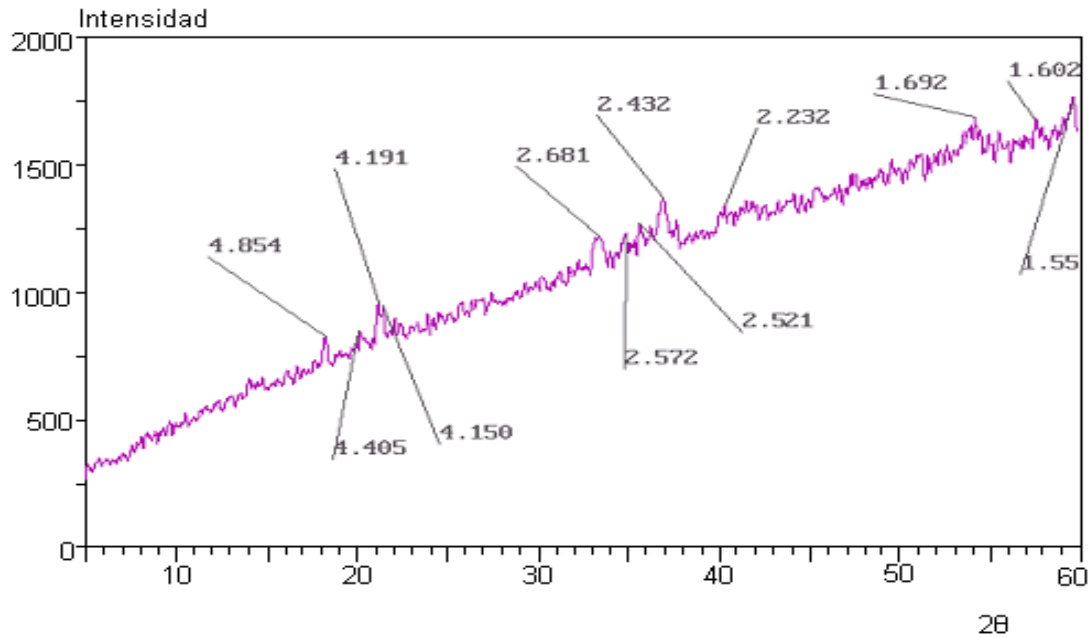


**Figura 10. Difractograma correspondiente a la fracción -4+2,3 mm.**

**Fracción -2,3+0,85 mm.**

Como se observa en la figura 11, entre los ángulos 20 ° y 40 ° sobresale la presencia de cuatro valores de distancias interplanares correspondientes a la goethita: 4,19 Å; 4,15 Å; 2,68 Å y 2,43 Å; el valor de distancia 2,68 Å coincide con la fase hematita apareciendo además las distancias 2,572 Å; 2,52 Å y 1,69 Å. Se puede afirmar entonces

que en esta fracción están presentes la goethita y hematita, además de las cromitas o cromoespinelas.



**Figura No 11. Diffractograma correspondiente a la fracción  $-2,3+0,85$  mm.**

#### **Fracción $-0,85+0,3$ mm.**

La figura 4 de los anexos muestra el diffractograma correspondiente a esta fracción. Aquí comienzan a aparecer valores de distancias correspondientes a la gibbsita ( $4,799$  Å;  $4,383$  Å,  $2,514$  Å y  $1,68$  Å), lo que está en correspondencia con los análisis químicos realizados, en los cuales se observan contenidos máximos de aluminio en las fracciones más finas.

Por otra parte la hematita y la goethita están presentes también en esta, siendo menos probable la presencia de cuarzo y espinelas, aunque no se descarta esta posibilidad.

#### **Fracción $-0,3+0,25$ mm.**

En esta fracción están presentes la goethita, hematita y la gibbsita. No se observan valores de distancias interplanares correspondientes a las espinelas. Aparece el pico con distancia igual a  $3,309$  Å que es el más intenso para el cuarzo y otro con distancia igual a  $1,831$  Å, sin embargo, no se puede afirmar categóricamente la presencia de esta fase (ver figura 5 de los anexos).

#### **Fracción $-0,25+0,190$ mm.**

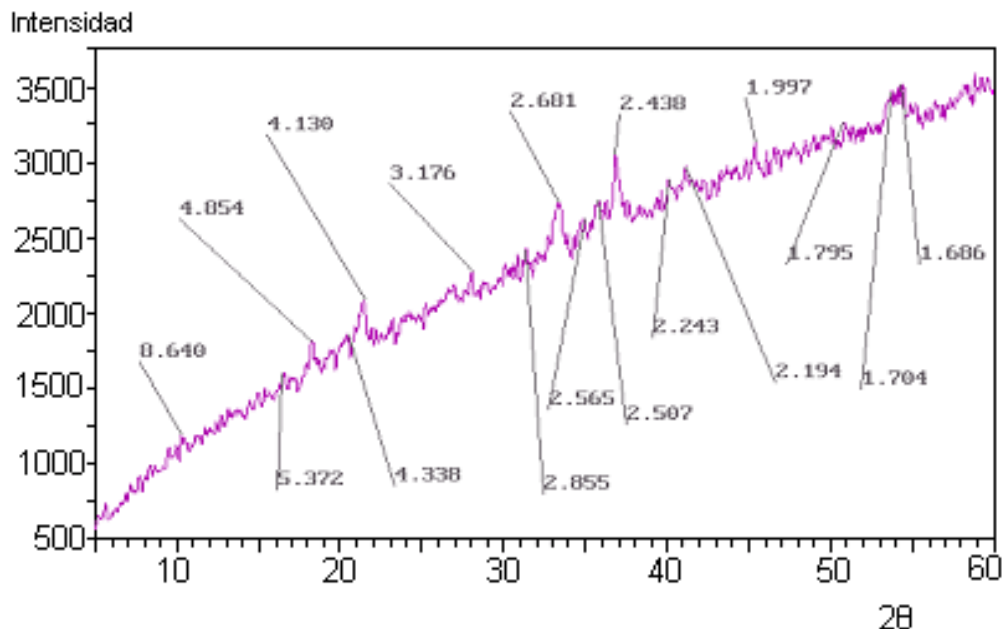
En la figura 6 de los anexos, correspondiente a la fracción que analizamos, se muestran distancias interplanares correspondientes a las fases gibbsita, hematita, espinelas y goethita . El cuarzo se comporta de forma similar a la fracción  $-0,3+0,25\text{mm}$ .

#### **Fracción $-0,190+0,074\text{ mm}$ .**

Las fases predominantes en esta fracción son: goethita, hematita, gibbsita, espinelas y cromoespinelas lo que evidencia el incremento en la concentración del aluminio (principalmente en forma de gibbsita) en las partículas más finas (arcillas) de los escombros. Además no se aprecia la presencia significativa del cuarzo como lo ilustra la figura 7 de los anexos.

#### **Fracción $-0,074\text{ mm}$ .**

La figura 12 representa el difractograma correspondiente a esta fracción granulométrica. En ella se pueden observar las distancias interplanares correspondiente a las fases goethita, gibbsita, y hematita.



**Figura 12. Difractograma correspondiente a la fracción  $-0,074\text{mm}$ .**

No se observan picos característicos para el cuarzo a pesar de que el contenido de dióxido de silicio, en esta fracción, alcanza su mayor valor (1,76 %) para los escombros estudiados, el silicio puede estar asociado a otras fases mineralógicas ó formando silicatos con los metales ligeros.

Aparecen además, picos con valores de distancias de 2,507 Å; 4,854 Å y 2,563 Å que justifican la presencia de cromoespinelas.

Se puede resumir del análisis mineralógico lo siguiente:

- Las principales fases mineralógicas presentes en los escombros lateríticos de la zona A, las constituyen la goethita, la hematita, la gibbsita, y las cromoespinelas.

Ostroumov, M.N y Rojas, A, 1985 han demostrado que, mineralógicamente en los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey), predominan además de las fases mencionadas anteriormente, la magnetita y la maghemita. Con relación a estas últimas, los valores de distancias interplanares correspondientes son: 2,50 Å; 2,51 Å; 2,98 Å y 2,08 Å; sin embargo, estos valores no se han reportado con frecuencia en las clases de tamaños estudiadas en esta materia prima, apareciendo solo algunos como: 2,507 Å; 2,508 Å ó 2,05 Å de poca intensidad y que coinciden con las fases hematita y cromitas. Por lo que no se cuenta, hasta el presente, con criterios que aseguren que en los escombros objetos de este trabajo, estén presentes la magnetita y la maghemita como fases principales.

#### **2.4. Caracterización magnética.**

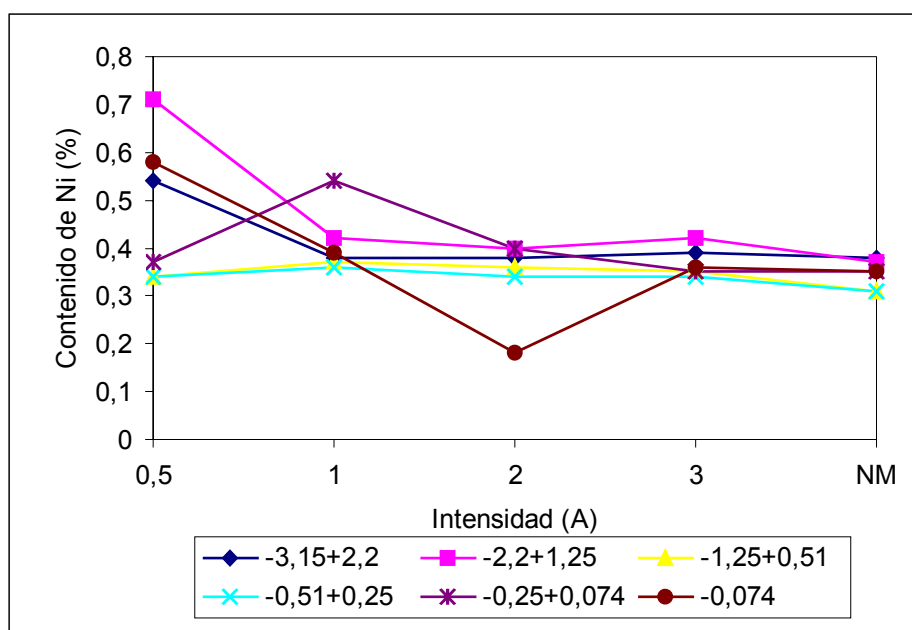
Los resultados a los que se arriba en los ensayos de separación magnética aparecen reflejados en las tablas 1-6 de los anexos.

##### **2.4.1. Variación del contenido de los elementos químicos a diferentes intensidades de campo.**

A partir de los resultados obtenidos, que muestran el contenido de los elementos químicos estudiados y las salidas de las clases de tamaño cuando son aplicadas las diferentes intensidades de corriente, se analizó la variación que experimentan los elementos: níquel, cobalto, hierro, cromo y aluminio. Las figuras que a continuación se muestran así lo reflejan.

Como se puede observar en la figura 13, los mayores contenidos de níquel se alcanzan a la menor intensidad aplicada, es decir a 0,5 A, disminuyendo o permaneciendo prácticamente constantes en la medida que aumenta el valor de la intensidad, esto se logra especialmente en la fracción  $-2,2+1,25$  mm con un contenido máximo del elemento de 0,71 %. Se observa además, que para las partículas con tamaños entre 1,25 y 0,25 mm, el contenido de este metal no varía considerablemente en las diferentes clases de intensidades.

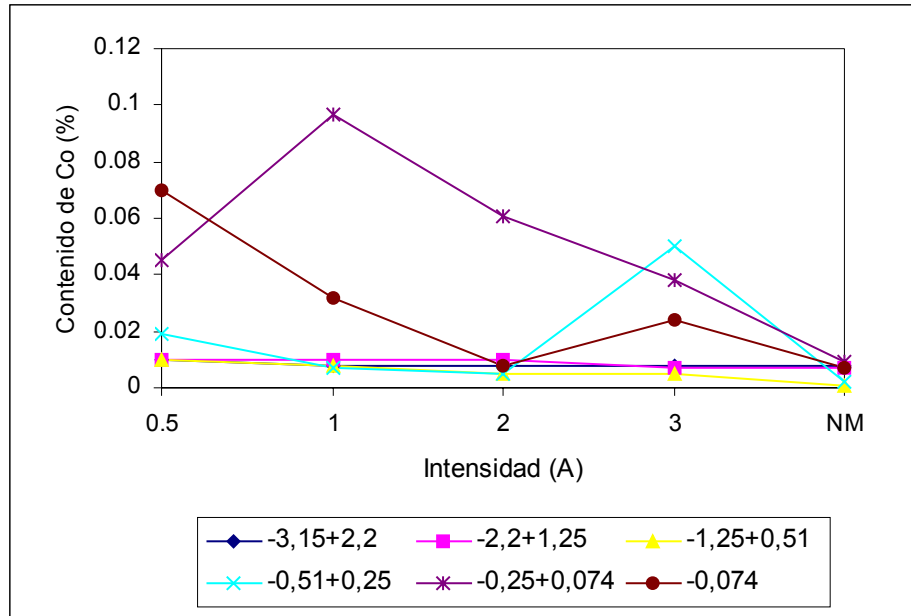
Con estos porcentos de níquel por encima de 0,5 % puede inferirse la presencia fases fuertemente magnéticas a las que pudiera estar asociado este elemento, como es la magnetita, sin embargo, aunque no se ha comprobado su presencia a través del análisis mineralógico realizado, no debe descartarse esta posibilidad pues en trabajos realizados por otros investigadores se hace referencia a la presencia de maghemita y magnetita en estos minerales. (Rojas, A y Carballo, A, 1993).



**Figura 13. Contenido de níquel a las intensidades de campo aplicadas.**

Es conveniente destacar, con relación a los contenidos máximos entre 0,54 y 0,71% de níquel a la intensidad de 0,5 A, que las salidas de esta clase no superan el 7 % en ninguna de las fracciones granulométricas, por tal motivo, cuando se puede hacer alusión a la concentración de este elemento a esta intensidad de corriente para determinadas fracciones granulométricas, un proceso de beneficio a través de la separación electromagnética no sería económicamente factible.

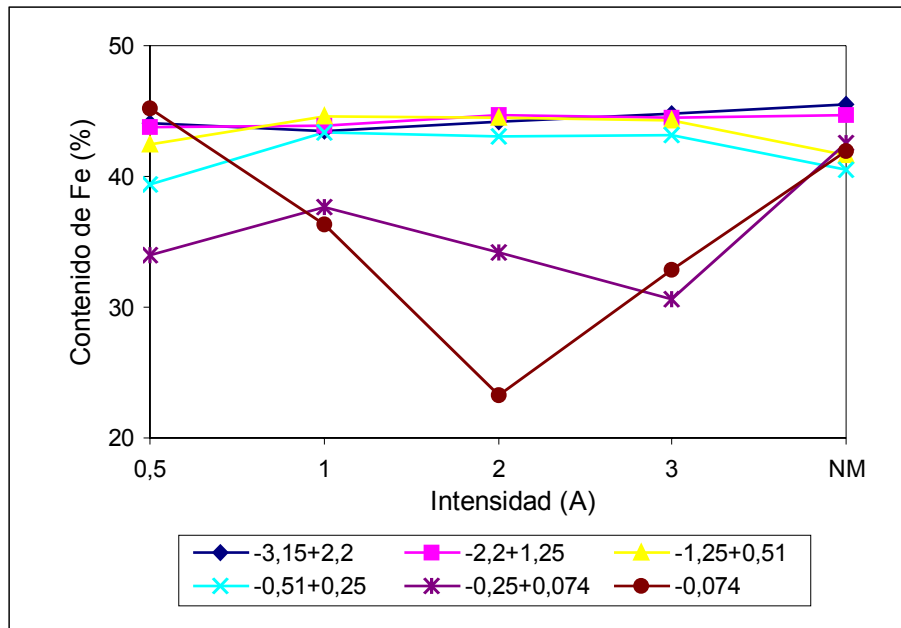
Con relación al cobalto (ver figura 14), sus mayores contenidos 0,061% y 0,097% se alcanzan cuando a la clase de tamaño  $-0,25+0,074$  mm son aplicadas intensidades de 1 y 2 A, sin embargo, estas clases de intensidad representan solo el 1,8 y 2,43 % de la fracción granulométrica en cuestión.



**Figura 14. Contenido de cobalto a las diferentes intensidades de campo aplicadas.**

En la fracción  $-0,074$  mm el mayor contenido (0,07) se alcanza a la intensidad de 0,5 A con una salida de esta clase de 1,44 %. Puede resumirse que los mayores contenidos de cobalto se alcanzan a bajas intensidades y en las fracciones granulométricas más finas, es decir, las menores de 0,51 mm, lo que confirma que este elemento se encuentra asociado junto al hierro y al níquel, a minerales con elevados valores de susceptibilidades magnéticas.

En el caso del hierro, como se muestra en la figura 15, se observa que en las partículas mayores de 1,25 mm los contenidos varían muy poco en las diferentes clases de intensidades, incrementándose ligeramente a intensidades mayores de 3 A, mientras que en la fracción granulométrica  $-1,25+0,25$  mm los mayores contenidos se alcanzan entre 1 y 3 A (entre 33% y 34 %). En las clases de tamaños más finas, específicamente en la  $-0,074$  mm, el mayor contenido se alcanza cuando es aplicada una intensidad de 0,5 A (45 %) y a mayores de 3 A (42 %).



**Figura 15. Contenido de hierro a las diferentes intensidades de campo aplicadas.**

En resumen, los mayores contenidos de hierro se alcanzan en las partículas mayores de 0,5 mm.

Esta variabilidad en el comportamiento de este elemento, desde el punto de vista magnético, demuestra una vez más, la complejidad en cuanto a fases existentes en estos minerales las cuales son portadoras de más de un componente, dificultándose en gran medida su separación.

En la figura 16 se puede observar que los mayores contenidos de cromo se logran en las partículas mayores de 0,25 mm a intensidades entre 1 y 3 A, aunque en las mayores de 1,25 mm el contenido se incrementa en la fracción no magnética.

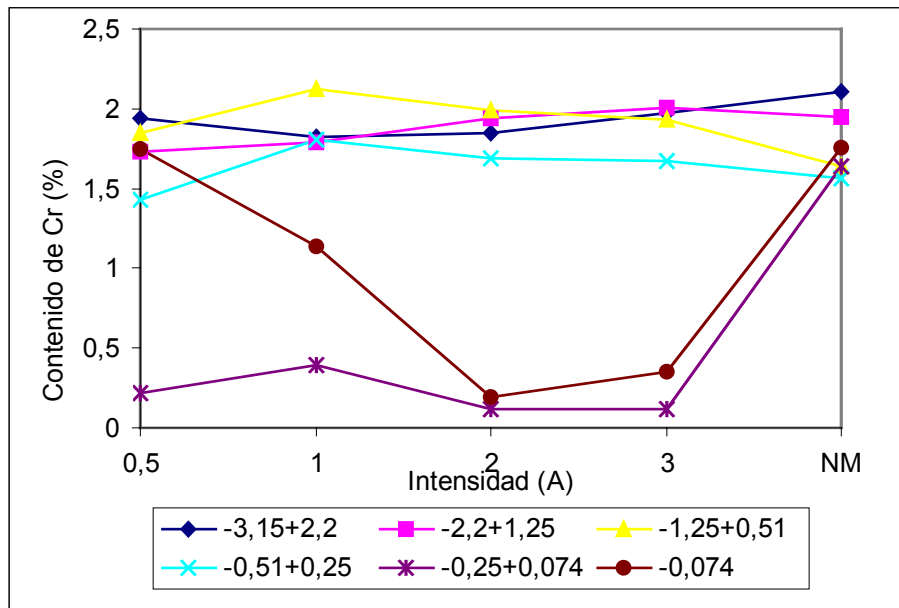


Figura 16. Contenido de cromo a las diferentes intensidades de campo aplicadas.

El comportamiento de este elemento es similar al del hierro, sus contenidos son inferiores en la medida en que disminuye el diámetro de las partículas, alcanzándose contenidos máximos de 1,64 %, 1,75% y 1,76 % cuando son aplicadas intensidades de 0,5 A y mayores de 3 A.

El aluminio se comporta también de forma similar al cromo y al hierro (ver figura 17), sus contenidos disminuyen con la disminución del tamaño de las partículas.

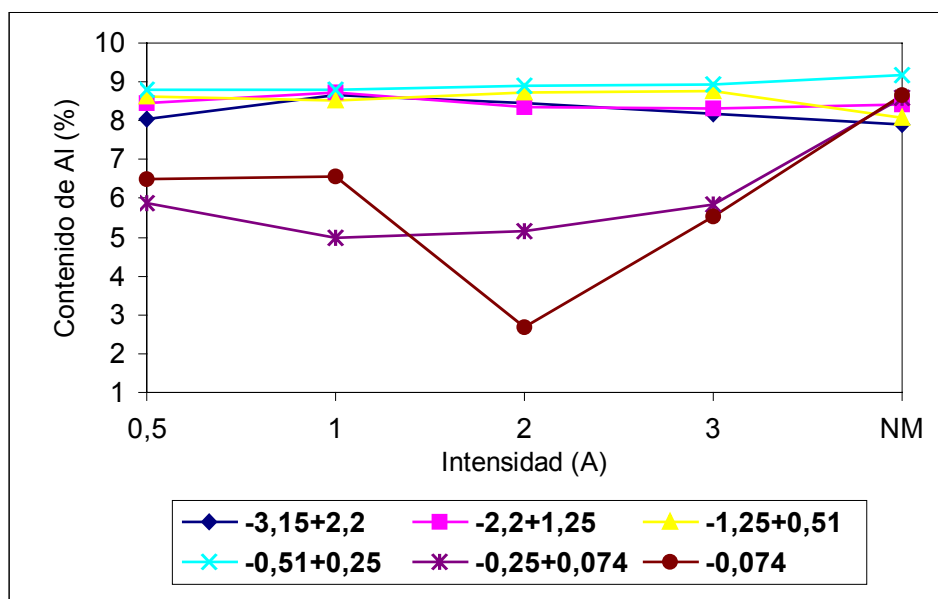


Figura 17. Contenido de aluminio a las diferentes intensidades de campo aplicadas.



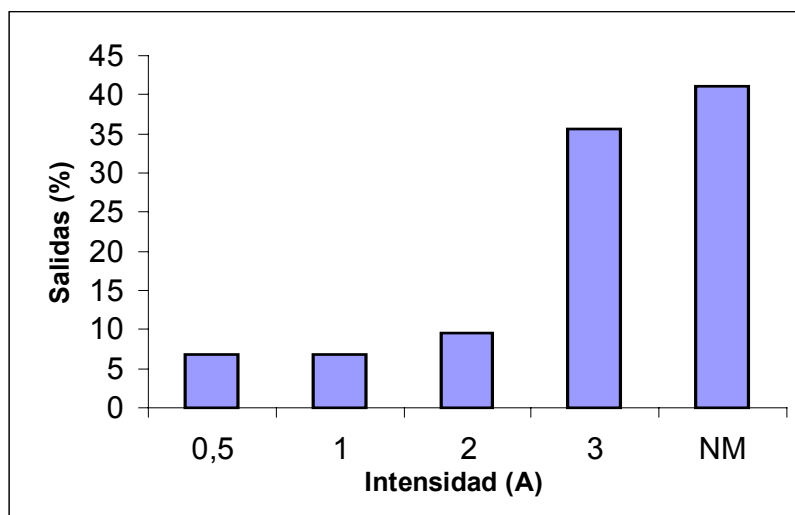
De forma general, se observa un comportamiento similar de los elementos: hierro, cromo y aluminio, lo que está en correspondencia con la mineralogía de estos minerales, lo que dificulta su total separación y con ello el beneficio de esta materia prima.

#### 2.4.2. Salidas de las fracciones granulométricas a diferentes intensidades del campo.

Las salidas de las clases de intensidades en las diferentes fracciones de tamaño, junto al contenido de los elementos químicos presentes en ellas, brindan una información interesante en la selección de métodos para el beneficio de los minerales.

Las figuras que a continuación se muestran, reflejan las salidas de las fracciones granulométricas estudiadas cuando son aplicadas diferentes intensidades de corriente.

En la fracción  $-3,15+2,2$  mm (ver figura 18) las mayores salidas se obtienen cuando es aplicada una intensidad de 3 A y con valores superiores a este, es decir, a la fracción no magnética, representando en conjunto, el 76,73 %.



**Figura 18. Salidas de la fracción  $-3,15+2,2$  mm a diferentes intensidades.**

En la fracción  $-2,2+1,25$  mm, más del 50 % corresponde a la clases de intensidad de 3 A (ver figura 19) disminuyendo la salida de la clase no magnética con respecto a lo analizado en la fracción granulométrica anterior.

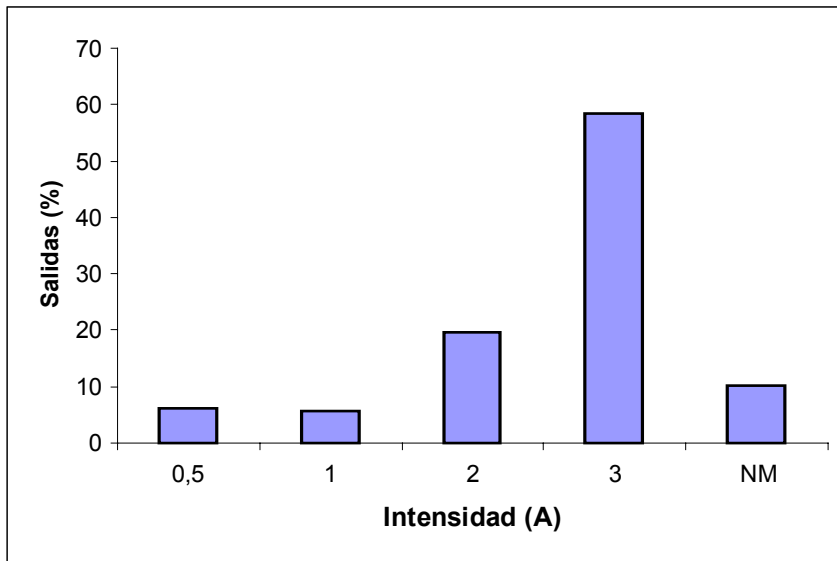


Figura 19. Salidas de las fracción  $-2,2+1,25$  mm a diferentes intensidades.

Sin embargo, en las fracciones  $-1,25+0,51$  mm y  $-0,51+0,25$  mm (figuras 20 y 21) los mayores valores de salidas se aprecian en las clases de 1 y 2 A con más del 80 % en total.

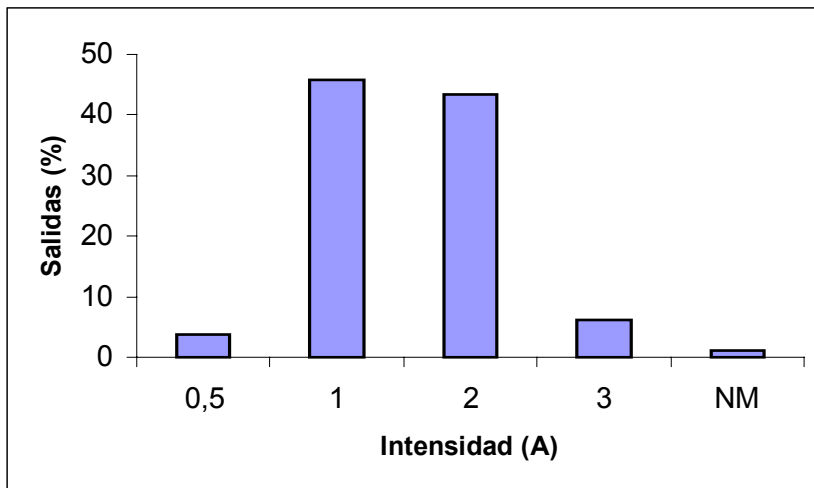
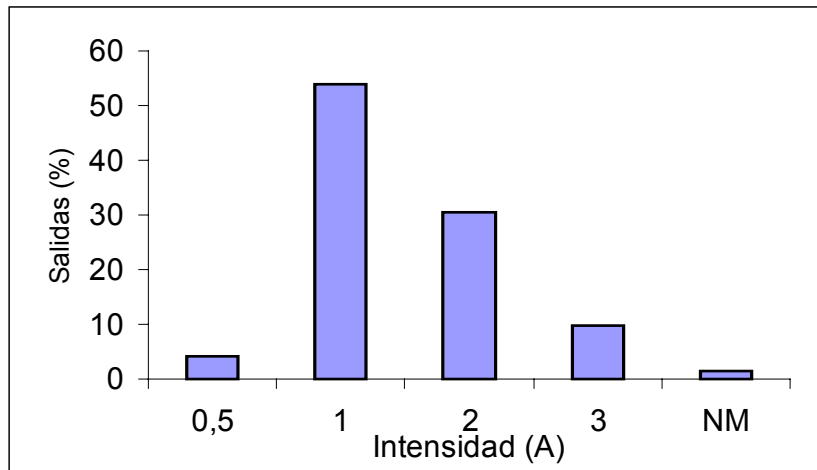
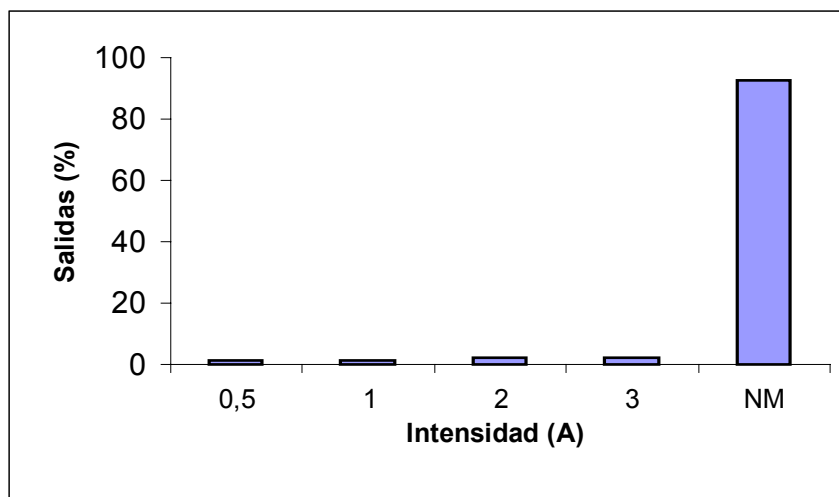


Figura 20. Salidas de la fracción  $-1,25+0,51$  mm a diferentes intensidades.

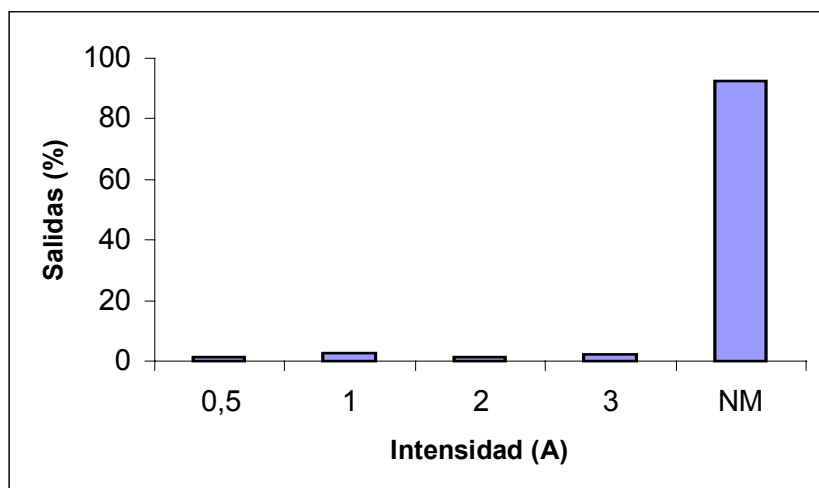


**Figura 21. Salidas de la fracción  $-0,51+0,25$  mm a diferentes intensidades.**

Por su parte en las fracciones más finas,  $-0,25+0,074$  mm y  $-0,074$  mm (figuras 22 y 23) las mayores salidas se alcanzan en la fracción no magnética (90 % aproximadamente) correspondiendo sólo el 10 % a las clases de intensidades de 0,5 – 3 amperes.



**Figura 22. Salidas de la fracción  $-0,25+0,074$  mm a diferentes intensidades.**



**Figura 23. Salidas de la fracción  $-0,074$  mm a diferentes intensidades.**

Como se puede observar, en ningún caso se alcanzan contenidos de la clase 0,5 A mayores del 10 %, por el contrario, los valores oscilan entre 6,87 % y 1,44 %.

De manera que, considerando los resultados del estudio mineralógico realizado en este trabajo, el comportamiento de la clase de intensidad 0,5 A está en correspondencia con que no se observaran fases fuertemente magnéticas como es la magnetita, en los escombros objeto de la investigación, aunque no se descarta la posibilidad de la presencia de algunas de estas fases como puede ser la maghemita pues Ostroumov, M.N y Rojas, A, 1985 las han reportado en sus estudios realizados a los escombros de los sectores Atlantic y Yamanigüey.

Por otra parte, los mayores contenidos de hierro, como principal elemento portador de fases con elevados valores de susceptibilidades magnéticas, se alcanzan a intensidades por encima de 2 A en las fracciones más gruesas, reportándose solo un valor de 45 % a la intensidad de 0,5 A en el caso de la fracción  $-0,074$  mm.

Los valores más significativos de salidas (superiores al 80 %) se alcanzan en las fracciones no magnéticas, es decir a intensidades mayores de 3 A.

### Capítulo III. Análisis del beneficio de los escombros de Zona A.

Las investigaciones realizadas en los últimos 10 años en el campo de la beneficiabilidad de los minerales lateríticos en Cuba, aplicando la teoría de separación de componentes útiles, del profesor Tijonov, han estado dirigidas fundamentalmente, por Coello, A y Hernández, A en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Las funciones  $\gamma(\xi)$  y  $\beta(\xi)$  (distribución másica y de contenido) son las herramientas utilizadas en dichas investigaciones, por constituir un medio sencillo para la caracterización de cualquier materia prima mineral. Cualquier otro método es insuficiente o excesivamente complicado como lo son las curvas de beneficiabilidad, cuando los componentes se diferencian por más de dos propiedades físicas, como es el caso de los escombros lateríticos. Estas funciones de distribución no solo permiten el cálculo de los indicadores clásicos del beneficio, sino también se puede realizar el pronóstico de los índices tecnológicos de cualquier esquema de beneficio, independientemente de la propiedad de separación. (Coello, A; et al, 1998).

El análisis de la beneficiabilidad de esta materia prima se realizó, tomando como propiedades físicas, el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas, a partir de las experiencias obtenidas por diferentes investigadores, los que han estudiado el beneficio de la laterita para la metalurgia extractiva y otros escombros de la región, específicamente los del yacimiento Atlántic.

#### 3.1. Análisis del beneficio según el tamaño de las partículas.

La función de distribución diferencial  $\gamma(\xi)$  de las partículas de cualquier mezcla con una propiedad física determinada ( $\xi$ ), es aquella para la cual el producto  $\gamma(\xi) d\xi$  es igual a la fracción másica de cualquier intervalo elemental y su incremento  $d\xi$ ; de ahí que la función  $\gamma(\xi)$  no es otra cosa que la función de distribución diferencial de la densidad de distribución del sólido, en las fracciones elementales. (Tijonov, O.N., 1984).

La distribución de las partículas según su tamaño, para el escombro estudiado, se conoce del análisis granulométrico (2.1) y la función que la caracteriza,  $\gamma(l)$ , se muestra en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4. Resultados experimentales de la función  $\gamma (I)$  (vía seca).**

Clases de tamaño (mm)	Tamaño de partículas, $I$ (mm)	Magnitud del intervalo de clase, $\Delta I$ , mm	$\gamma (I)$ , 1/mm	$\gamma (I) \cdot \Delta I$
0 - 0,074	0,037	0,074	1,78	0,1321
0,074 - 0,25	0,162	0,176	0,12	0,0216
0,25 - 0,51	0,38	0,26	0,61	0,1582
0,51 - 1,25	0,88	0,74	0,21	0,1588
1,25 - 3,15	2,2	1,9	0,11	0,2039
3,15 - 5,0	4,075	1,85	0,04	0,0692
5,0 - 6,3	5,65	1,3	0,04	0,0489
6,3 - 8,0	7,15	1,7	0,02	0,0362
8,0	8,00	1,7	0,10	0,1711

**Tabla 5. Resultados experimentales de la función  $\gamma (I)$  (vía húmeda).**

Clases de tamaño (mm)	Tamaño de partículas, $I$ (mm)	Magnitud del intervalo de clase, $\Delta I$ , mm	$\gamma (I)$ , 1/mm	$\gamma (I) \cdot \Delta I$
0 - 0,074	0,037	0,074	5,29	0,3917
0,074 - 0,25	0,162	0,176	0,17	0,0305
0,25 - 0,51	0,38	0,26	0,44	0,1156
0,51 - 1,25	0,88	0,74	0,17	0,1235
1,25 - 3,15	2,2	1,9	0,08	0,1571
3,15 - 5,0	4,075	1,85	0,03	0,0515
5,0 - 6,3	5,65	1,3	0,02	0,0232
6,3 - 8,0	7,15	1,7	0,01	0,0147
8,0	8,00	1,7	0,05	0,0922

Como se puede observar, la función de distribución  $\gamma (I)$  resulta diferente por las dos vías evidenciándose una distribución de las partículas finas en todo el espectro granulométrico estudiado; la salida de la clase  $-0,25+0$  mm, en el cribado seco, representa el 15,37 % de todo el material, sin embargo, en el análisis realizado por vía húmeda, la salida de esta clase aumenta hasta un 42,22 %.

Tomando en consideración lo planteado por Tijonov en relación a la función de distribución másica y los resultados reflejados en las tablas anteriores, se puede plantear que en estos escombros lateríticos existe una mayor densidad de distribución de las partículas hacia las menores de 2,2 mm, coincidiendo esta tendencia con los resultados

de otras investigaciones realizadas. (Ramírez, B, 1994; Menocal, Y, 1995 ; Pons, J. et al, 1995 y Coello, A, O, Tijonov, 1996).

### 3.2. Análisis del beneficio según el tamaño y la susceptibilidad magnética.

Como se puede observar, la función de distribución por el diámetro y la susceptibilidad magnética,  $\gamma (I,I)$ , (ver tabla 6) no sigue una tendencia uniforme, verificándose variabilidad de ésta en cualquier sentido, aunque en las partículas mayores de 1,7 mm se observan valores mayores a intensidades entre 2 y 3 A (0,082 ; 0,067 y 0,24), mientras que, cuando es aplicada una intensidad de corriente de 1 A, los mayores valores (0,25 y 0,78) se alcanzan para las partículas que se encuentran entre 0,88 mm y 0,38 mm. Por su parte, la densidad de distribución de las partículas menores de 0,38 mm teniendo en cuenta las dos propiedades que se analizan, es muy pobre en las fracciones magnéticas, esto es, a intensidades menores de 3 A.

Estos resultados demuestran que la distribución másica de los minerales en intervalos de susceptibilidades magnéticas, es heterogénea en el espectro granulométrico de los escombros lateríticos, lo que corrobora lo planteado por Coello, A, et al, 1998.

**Tabla 6. Resultados experimentales de la función  $\gamma (I,I)$  .**

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	Valor de la función de distribución $\gamma (I,I)$				
	Intensidad de corriente, A				
	0 – 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3
2,67	0,026	0,025	0,018	0,067	0,026
1,725	0,051	0,049	0,082	0,24	0,014
0,88	0,019	0,25	0,070	0,022	0,0011
0,38	0,062	0,78	0,37	0,052	0,004
0,162	0,002	0,002	0,002	0,002	0,025
0,037	0,005	0,009	0,0025	0,004	0,06

### 3.3. Cálculo y análisis de los índices tecnológicos del beneficio.

En lo adelante se describe la metodología que se utilizó para establecer los índices tecnológicos del beneficio: salida, contenido y recuperación ( $\bar{\gamma}$ ,  $\bar{\beta}$  y  $\bar{\varepsilon}$ ) para el

níquel, cobalto, hierro, cromo y aluminio, elementos a los que se prestó mayor interés en el trabajo.

Para obtener la salida en el concentrado magnético ( $\bar{\gamma}_{conc}$ ) fue necesario calcular las salidas de las fracciones en el mineral ( $\bar{\gamma}_{inic}$ ), la cual se obtiene a través de la ecuación (8) y los resultados se muestran en la tabla 7.

$$\bar{\gamma}_i(\ell, I) = \int_{\ell_{min}}^{\ell_{max}} \int_{I_{min}}^{I_{max}} \gamma(\ell, I) d\ell dI \tag{8}$$

**Tabla 7. Salidas de las fracciones en el mineral.**

Tamaño de las partículas, $l, mm$	$\gamma(l, I) \Delta l \Delta I_i$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\gamma}_{inic}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,0123	0,0121	0,017	0,064	0,074	0,18
1,725	0,024	0,023	0,078	0,23	0,04	0,40
0,88	0,007	0,092	0,052	0,017	0,0024	0,17
0,38	0,008	0,102	0,096	0,014	0,003	0,22
0,162	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,013	0,014
0,037	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,013	0,014

Con los resultados obtenidos y por medio de la ecuación 5 (1.2.5), se determinaron las salidas de las fracciones investigadas y con éstas la salida del concentrado, es decir, el producto que se estudió a las intensidades entre 0,5 y 3 A.

Se debe aclarar que, en la ecuación 5 se asumió la característica de separación igual a 1, teniendo en cuenta las experiencias de los especialistas en el tema que consideran que la característica principal de un separador varía cuando no se controlan eficientemente las variables de operación del equipo en cuestión. Coello, A., comunicación personal.



Tabla 8. Salidas de las fracciones en el concentrado magnético.

Tamaño de las partículas, $l$ (mm)	$\gamma_{\text{inic}}(I_i, \Delta I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\gamma}_{\text{conc}}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,006	0,006	0,018	0,061	--	0,091
1,725	0,0114	0,0112	0,0741	0,220	--	0,317
0,88	0,0026	0,0340	0,0385	0,0126	--	0,088
0,38	0,001	0,0133	0,025	0,004	--	0,043
0,162	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	--	$1,4 \cdot 10^{-5}$
0,037	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	--	$5,0 \cdot 10^{-5}$

De ahí que  $\bar{\gamma}_{\text{conc}} = 53,90 \%$ .

Como se puede observar, la salida en el concentrado para la fracción mayor de 3 A (fracción no magnética) corresponde a las condiciones ideales de separación, pues al concentrado magnético, teóricamente, no deben pasar partículas con susceptibilidades magnéticas muy pequeñas, aunque a nivel industrial no ocurre exactamente así por errores de clasificación. (Hernández, A, et al, 2000).

Tabla 9. Característica de separación.  $\varepsilon(I_i, I_i)$ 

Tamaño de las partículas, $l$ (mm)	$\bar{\gamma}_{\text{conc}} \cdot \gamma_{\text{conc}}(I_i, I_i) / \gamma_{\text{inic}}(I_i, I_i)$			
	Intensidad de corriente, A			
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3
2,67	0,26	0,27	0,57	0,51
1,725	0,25	0,26	0,51	0,51
0,88	0,20	0,20	0,41	0,40
0,38	0,067	0,07	0,14	0,15
0,162	0,053	0,053	0,089	0,089
0,037	0,018	0,017	0,026	0,036

El contenido de los elementos en el concentrado se calculó según la ecuación 7 (1.2.5). A continuación se muestran los resultados obtenidos para el níquel, hierro, cobalto, cromo y aluminio.

Tabla 10. Contenido de níquel en las fracciones del concentrado.

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	$(100/\bar{\gamma}_{\text{conc}}) \beta(k, I_i) \cdot \gamma_{\text{conc}}(k, I_i) \cdot \varepsilon(k, I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\beta}_{\text{conc}}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$23 \cdot 10^{-3}$	--	$33 \cdot 10^{-3}$
1,725	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-2}$	--	$12,4 \cdot 10^{-2}$
0,88	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	--	$17 \cdot 10^{-3}$
0,38	$4 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$22 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	--	$2,7 \cdot 10^{-3}$
0,162	$5 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$35 \cdot 10^{-7}$	$26 \cdot 10^{-7}$	--	$76 \cdot 10^{-7}$
0,037	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-7}$	--	$6 \cdot 10^{-7}$

$$\bar{\beta}_{\text{Ni}} = 0,18 \%$$

Tabla 11. Contenido de cobalto en las fracciones del concentrado.

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	$(100/\bar{\gamma}_{\text{conc}}) \beta(k, I_i) \cdot \gamma_{\text{conc}}(k, I_i) \cdot \varepsilon(k, I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\beta}_{\text{conc}}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	$26 \cdot 10^{-6}$	$24 \cdot 10^{-6}$	$17 \cdot 10^{-5}$	$46 \cdot 10^{-5}$	--	$68 \cdot 10^{-5}$
1,725	$5 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$71 \cdot 10^{-5}$	$15 \cdot 10^{-4}$	--	$23,1 \cdot 10^{-4}$
0,88	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	--	$3,2 \cdot 10^{-4}$
0,38	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$7 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	--	$33 \cdot 10^{-6}$
0,162	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$21,2 \cdot 10^{-7}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	--	$32,2 \cdot 10^{-7}$
0,037	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$5,2 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$	--	$6,44 \cdot 10^{-8}$

$$\bar{\beta}_{\text{Co}} = 0,0033 \%$$

Tabla 12. Contenido de hierro en las fracciones del concentrado.

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	$(100/\bar{\gamma}_{\text{conc}}) \beta(k, I_i) \cdot \gamma_{\text{conc}}(k, I_i) \cdot \varepsilon(k, I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\beta}_{\text{conc}}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,1310	0,1327	0,8566	2,6275	--	3,7478
1,725	0,2410	0,2470	3,1916	9,4411	--	13,1210
0,88	0,4240	0,5710	1,3000	0,4300	--	2,7520
0,38	0,0520	0,0100	0,2836	0,0500	--	0,4000
0,162	0,0010	0,0010	0,0034	0,0031	--	0,0067
0,037	0,00045	0,00073	0,00046	0,00132	--	0,0030

$$\bar{\beta}_{\text{Fe}} = 20,03 \%$$

Tabla 13. Contenido de aluminio en las fracciones del concentrado.

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	$(100/\bar{\gamma}_{conc}) \beta(I, I_i) \cdot \gamma_{conc}(I, I_i) \cdot \varepsilon(I, I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\beta}_{conc}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,0236	0,0264	0,1635	0,4803	--	0,6938
1,725	0,0465	0,0576	0,5955	1,7609	--	2,4505
0,88	0,0086	0,1091	0,2546	0,0246	--	0,3969
0,38	0,0012	0,012	0,0585	0,0094	--	0,0703
0,162	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4,5 \cdot 10^{-5}$	$5,3 \cdot 10^{-6}$	--	$66,7 \cdot 10^{-6}$
0,037	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,21 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-6}$	--	$12,61 \cdot 10^{-6}$

$$\bar{\beta}_{Al} = 3,62 \%$$

Tabla 14. Contenido de cromo en las fracciones del concentrado.

Tamaño de las partículas, $I$ (mm)	$(100/\bar{\gamma}_{conc}) \beta(I, I_i) \cdot \gamma_{conc}(I, I_i) \cdot \varepsilon(I, I_i)$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \bar{\beta}_{conc}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,0057	0,0056	0,036	0,1155	--	0,1628
1,725	0,0095	0,0098	0,1385	0,4265	--	0,5843
0,88	0,0018	0,0271	0,0581	0,0185	--	0,1055
0,38	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$11 \cdot 10^{-3}$	$17 \cdot 10^{-4}$	--	0,0131
0,162	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$8,5 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	--	$11,2 \cdot 10^{-6}$
0,037	$3,1 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	--	$1,3 \cdot 10^{-6}$

$$\bar{\beta}_{Cr} = 0,9 \%$$

Como se puede apreciar, los contenidos de hierro, aluminio y cromo en la fracción magnética, son superiores a los contenidos de estos metales en el mineral alimentado, lo que indica una tendencia a la concentración en este producto de la separación, en tanto que el níquel mantiene su contenido inicial y el cobalto disminuye con respecto al alimentado.

Las recuperaciones de los metales se calcularon por la fórmula convencional 4 que aparece en el epígrafe 1.2.5. Los resultados se muestran a continuación.

$$\bar{\varepsilon}_{Ni} = 24,25 \%; \quad \bar{\varepsilon}_{Co} = 6,59 \%; \quad \bar{\varepsilon}_{Fe} = 24,78 \%; \quad \bar{\varepsilon}_{Al} = 23,59 \%;$$

$$\bar{\varepsilon}_{Cr} = 24,38 \%.$$

Los resultados arrojados por los ensayos de la separación magnética, permitieron establecer los principales índices tecnológicos del beneficio, estos se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 14. Resultados de la separación magnética.**

Productos del beneficio	$\gamma$ (%)	Contenido (%)					Recuperación (%)				
		Ni	Co	Fe	Al	Cr	Ni	Co	Fe	Al	Cr
Producto 1 *	53,90	0,18	0,003	20,03	3,62	0,9	24,25	6,59	24,78	23,59	24,38
Producto 2 **	46,10	0,66	0,055	70,97	13,71	3,26	46,10	86,02	75,22	46,49	47,18
Alimentado	100	0,40	0,027	43,50	8,27	1,99	100	100	100	100	100

\* Producto obtenido a intensidades entre 0,5 A y 3 A.

\*\* Producto obtenido a intensidades superior a 3 A.

Las salidas de los productos de la separación no muestran una diferencia marcada; como se observa en la tabla 14 el producto 1 supera solo en 7,8 % al producto 2, comprobándose que, en la gama de tamaño de partículas estudiadas, el 53,90 % de éstas se separan a intensidades de corriente entre 0,5 A y 3 A.

Esto corrobora una vez más que en los escombros lateríticos del yacimiento Zona A, no predominan las fases fuertemente magnéticas, aspecto que se comprobó en el análisis mineralógico realizado, no obstante, no se desecha esta posibilidad pues algunos investigadores han confirmado la presencia en estos minerales, de las fases magnetita y maghemita aunque sus contenidos no superan, en ningún caso, el 2,5 %. Ponce, N, et al., 1983; Blanco, J., 1985; Ostroumov, M.N., 1985; Almaguer, A., 1989; Rojas, P., 1995.

Observando las recuperaciones obtenidas para el hierro, el níquel, el cromo y el aluminio en el producto 1 de la separación, estas son ligeramente superiores a las del producto 2 y oscilan entre el 52,82 % y el 54,47 %. Por el contrario, la recuperación del cobalto en este mismo producto es 13,97 % mientras que en el producto 2, que corresponde a la fracción no magnética, la recuperación de este elemento es 82,39 %.

Este valor de recuperación constituye un elemento importante incluso cuando los porcentajes en masa que se obtienen de cada producto de la separación, no difieren considerablemente como ya se ha explicado, pues si se observa la tabla 19, el contenido de cobalto en los escombros de este yacimiento alcanza solo el 0,027% incrementándose hasta 0,050 % en el producto 2 de la separación.

En la figura 14 del capítulo II se analizaba el contenido cobalto en las clases de intensidades de las diferentes fracciones granulométricas y se observaba que los mayores contenidos se alcanzaron para las fracciones menores de 0,25 mm a intensidades entre 0,5 A y 1 A, es decir, a bajas intensidades, sin embargo, cuando se tiene conocimiento de que el cobalto se encuentra asociado junto al níquel a los minerales de hierro, también se ha demostrado que el 80 % de este elemento se encuentra en las asbolanas, fases con bajos valores de susceptibilidades magnéticas. Palacios, A., 2001. Esto justifica que el contenido de este elemento en el producto 1 sea menor que en producto 2 de la separación.

Evidentemente el comportamiento del níquel junto al hierro, corrobora una vez más que los minerales de este último son los principales portadores de níquel, Ponce, N, y otros.,1983 ; Ostroumov, M.N y otros.,1987 ; Almaguer, A y V. Zamarzry., 1993. Las principales fases minerales portadoras de hierro son la goethita y la hematita, las cuales están presentes en el escombros que se estudia lo que se ha analizado y demostrado en el epígrafe **2.3**.

El cromo y el aluminio se encuentran asociados principalmente, a las fases aluminocromita y cromoespinelas o espinelas cromíferas, mientras que el aluminio está presente en la gibbsita y otras como la hidrargilita, Rojas, P. A., 1995. Estas fases presentan bajos valores de susceptibilidades magnéticas por lo que pudiera considerarse que no deben pasar al producto magnético (producto 1), sin embargo, se ha demostrado que el cromo y el aluminio están asociados, aunque en menor medida, a los minerales de hierro, lo que justifica el comportamiento que siguen desde el punto de vista magnético, estos metales en la materia prima que estudiada.

Por los resultados alcanzados y lo analizado anteriormente se puede plantear que la separación magnética a intensidades entre 0,5 A y 3 A, como método para beneficiar los

escombros lateríticos, no es adecuado por cuanto los contenidos que se obtienen de los elementos níquel, hierro, cromo y aluminio en los dos productos de la separación, no cumplen con las exigencias de un concentrado. En el caso particular del cobalto, considerando el 86,02%, debe ser estudiado a intensidades superiores a 3 A en intervalos estrechos que permita definir cuál es el valor óptimo para la separación.

### **3.4. Análisis del efecto ecológico de las escombreras.**

Si se tiene en cuenta el efecto ecológico que entraña el vertido de grandes volúmenes de escombros anualmente por esta empresa (1 millón de toneladas) que afectan el ecosistema de la región de Moa, se deben buscar vías para el tratamiento de esta materia prima contenedora también de importantes valores metálicos.

Las escombreras se agigantan cada día con el avance de la explotación de los yacimientos de níquel, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que intensifican el arrastre de los suelos con la concebida ruptura del equilibrio fluvial y la acumulación de sedimentos.

Esto constituye además, un sector de pérdidas de cobertura vegetal lo que no solo altera el ciclo hidrológico sino también facilita la acción del viento como agente erosivo intenso.

Las escombreras tienen además, una influencia directa en la contaminación de las aguas superficiales detectándose un aumento de la concentración de casi todos los elementos por encima de los valores admisibles para agua potable Velázquez, A., 1997. Los escombros al llegar a las aguas las enturbian impidiendo el paso de la luz solar a la zona fótica ocasionando el deteriorando de la fauna y de la flora que la habitan.

En las partículas mayores de 1,25 mm de los escombros se concentran los perdigones, los que han sido estudiados para su posible uso en los procesos siderúrgicos. (Pons, J. H et al, 1995, 1996 y 1997). Estas partículas se caracterizan por presentar un elevado contenido de hierro (entre 43 y 47 %) y otros elementos en forma oxidada como: níquel, cobalto, cromo y aluminio por lo que constituyen objeto de actuales investigaciones con vistas a darles un uso más eficiente. (Ramírez, M. et al, 2001).

De utilizarse a mayor escala estos perdigones, se obtendrían de estas partículas, entre el 52 y 34 %, lo que traería aparejada una disminución apreciable de los escombros que se vierten a las escombreras de las empresas de la región de Moa.

### **Conclusiones.**

**I.-** Se comprobó que los escombros lateríticos del yacimiento Zona “A” están caracterizados por partículas mayores de 80  $\mu$  m que agrupan el 60,83 % entre las que predominan los tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm con un contenido de 39,62; aspecto común en los escombros de otros yacimientos de la región.

**II.-** Como resultado de la caracterización química se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- En las fracciones gruesas, específicamente las mayores de 5 mm, se concentran los mayores contenidos de hierro, níquel, cobalto y cromo, lo que confirma la existencia de las fases hematita, goethita e hidrogoethita y cromita en estas fracciones las cuales son portadoras de dichos elementos
- El magnesio, el dióxido de silicio y el aluminio tienen un comportamiento similar, concentrándose en las fracciones más finas (menores de 0,5 mm), lo que justifica la presencia de minerales arcillosos que acompañan a estos materiales y cuyas fases principales son las gibbsitas.
- El manganeso y el cobalto se concentran fundamentalmente en las fracciones más finas, es decir, en las menores de 1,25 mm, asociados a la fase mineralógica asbolanas.

**III.-** Las principales fases presentes en los escombros lateríticos de la zona A son: la goethita, la hematita, la gibbsita, y las cromoespinelas, lo que constituye de hecho, una regularidad de los escombros lateríticos de la región de Moa.

**IV.-** En el estudio de beneficiabilidad realizado se analizaron dos productos con características diferentes. En el producto 2 de la separación, el contenido de los elementos analizados supera el contenido de los mismos en el mineral alimentado, lo que indica teóricamente, una concentración de éstos a intensidades de corriente superiores a 3 A. Las recuperaciones en este mismo producto, oscilan entre el 75% y el 76% exceptuando al cobalto cuya recuperación alcanza el 93,41%.



## ***Recomendaciones .***

**I.-** Determinar experimentalmente la característica de separación para las propiedades: tamaño y susceptibilidad magnética de las partículas.

**II.-** Estudiar el comportamiento de los escombros lateríticos a intensidades entre 3A y 7A en intervalos estrechos, que permita definir el valor óptimo para la separación.

**III.-** Realizar un estudio mineragráfico y termogravimétrico de los escombros lateríticos para su posible utilización industrial.

**IV.-** Establecer las regularidades de los escombros lateríticos de la región de Moa, considerando los resultados del presente trabajo y de los realizados anteriormente relacionados con esta temática.

**V.-** Realizar pruebas a escala industrial, que permitan definir un uso eficiente de las partículas mayores de 2 mm (perdigones) como material de carga y como oxidante en los procesos siderúrgicos.

**Bibliografía.**

1. ALMAGUER, A: "Mineralogía y geoquímica de las cortezas de intemperismo lateríticas de las rocas ultramáficas de la provincia Holguín", Tesis doctoral. Universidad de Ostrava, Checoslovaquia, 1989.
2. ALMAGUER, A., V. Zamarzry: "Estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía", *Minería y Geología* XI (2): 17 – 24, 1993.
3. ALMAGUER, A.F: "Corteza de intemperismo. Algunas características de sus partículas finas", *Minería y Geología* XII (1) pp: 9-19, 1995.
4. BLANCO, J: "Mineralogía de las lateritas del sector Atlantic, Mina Moa", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1985.
5. CAPOTE, N., L. Rojas, P. Bassas: "Determinación de la distribución del Níquel en las macrofases del mineral laterítico", *Minería y Geología* XI (1) pp:37-39, 1993.
6. COELLO, A., P. Beyris, A. Hernández: "Distribución fraccional de los valores metálicos en el escombros laterítico", *Minería y Geología*, XVI (3) pp: 24-30, 1998.
7. CORDEIRO, C., A. Cordeiro, N., Ponce y J. Collazo: "Determinación experimental de la distribución de Níquel entre microfases de mineral laterítico", *Minería y Geología*, V (2) pp: 57 – 64, 1987.
8. CIZMARIK, P: "Estudio sobre las posibilidades de elaboración del mineral de cromo cubano", Informe Técnico, Praga, 1962.
9. DURAN, E., L. Angulo: "Análisis fraccional magnético de los escombros lateríticos". Informe técnico, ISMM, Moa. 1994.
10. FALCÓN, J., A. Hernández: "Preparación y beneficio de minerales lateríticos en el proceso de lixiviación ácida a presión", *Minería y Geología*, XI (2) pp: 51 – 54, 1993.
11. GARCÍA, I., J. Castellanos, S. Estrada, Y. Filippov: "Obtención de FeNi en hornos de cubilote", *La Minería en Cuba*, 2 (2) pp: 68 – 79, 1976.
12. GARRIDO, M: "Precipitación de sulfuros a partir de soluciones carbonato amoniacales", Tesis de maestría, ISMM, Moa, 2000.
13. GUERRA, N., B. Bismaris: "Caracterización fraccional magnética de los escombros lateríticos", Trabajo de diploma, ISMM, 1991.
14. HERNÁNDEZ, A. F: "Determinación de esquemas racionales para la preparación y beneficio integral de minerales lateríticos", Tesis doctoral, ISMM, Moa, 1998.
15. HERNÁNDEZ, M: "Caracterización magnética de los escombros lateríticos" Trabajo de diploma, ISMM, 1994.
16. HERNÁNDEZ, A., J. Falcón, R. Trujillo, A. Almaguer y M. Toirac: "Análisis teórico del beneficio de la mena laterítica", *Minería y Geología*, XVII (3-4) pp: 73 – 78, 2000.
17. MENOCA, Y., M, Rivero: "Beneficio de los escombros lateríticos. Trabajo de diploma", ISMM, Moa, 1995.
18. MORENO, A., et al: "Extracción por solventes orgánicos, corazón de la refinería moderna" Segunda conferencia internacional de aprovechamiento de los recursos minerales", ISMM, Moa. 2000.

19. MOJENA, L., A. Díaz, F. García y otros: "Preparación premetalúrgica del mineral Pinares de Mayarí. Fracciones granulométricas + 0,83 – 0,21 mm", Informe Técnico, CIS, Nicaro, 1989.
20. NIP, J. y N. Morales: "Propuestas tecnológicas para la recuperación de cromo de los yacimientos de Nicaro e incremento de la ley de Níquel", Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1994.
21. ORTIZ, J: "Obtención de concentrados de cromo y hierro a partir de los escombros lateríticos de Pinares de Mayarí " Informe técnico. ISMM,1990.
22. OSTROUMOV, M.N., L Rojas., C. Sánchez: "Estudio de la composición mineralógica de las lateritas de Moa por el método de difracción de rayos X", *Minería y Geología*, III (1) pp: 23 – 30, 1985.
23. OSTROUMOV, M.N., R Rodríguez, A Chirino y R. Lozano: "Características de la composición química de las cromoespinelas cubanas por el análisis de rayos X", *Minería y Geología*, IV (1) pp: 31-44, 1986.
24. OSTROUMOV, M.N., L Rojas., J. Blanco: "Caracterización mineralógica de las lateritas del sector Atlantic. Mina Moa", *Minería y Geología*, V (1) pp: 35-40 , 1987.
25. PALACIOS, A, R. "Extracción de cobalto mediante la lixiviación ácida de los escombros lateríticos". Tesis doctoral, ISMM. Moa, 2001.
26. PEÑA, I. y S. Rubio: "Beneficio de los escombros lateríticos", Trabajo de diploma. ISMM, Moa, 1990.
27. PONCE, N.S: "Condiciones geológicas de formación de las cortezas ferroniquelcobaltíferas de intemperismo de Cuba nororiental", *La Minería en Cuba*, VI (1) pp: 61 – 63, 1980.
28. PONCE, N., N. Hernández y otros: "Posible influencia de la composición mineralógica en la sedimentación de la pulpa cruda de Moa", *Minería y Geología* I (3) pp: 215 – 237, 1983.
29. PONCE, N. Y otros: "Características mineralógicas de las menas industriales de los yacimientos lateríticos ferroniquelíferos del macizo Mayarí – Baracoa", *Serie Geológica*, CIG, I (2), 1983.
30. PONS, J. H., I. Pando, Y. Sosa: "Caracterización de las fracciones + 0,83 mm de los escombros lateríticos del yacimiento Atlantic", Informe Técnico, ISMM, Moa, 1995.
31. PONS, J. H., S. Andrade, D. Gutiérrez: "Estudio preliminar de los escombros lateríticos con fines siderúrgicos I Parte", Informe Técnico. ISMM. Moa, 1995.
32. PONS, J. H., O. Gallardo, Y. Amador: "Estudio preliminar de los escombros lateríticos con fines siderúrgicos II Parte", Informe Técnico, ISMM, Moa, 1996.
33. QUINTANA, R. P., y otros: "Estudio de la pulpa cruda del mineral laterítico del yacimiento Moa: Análisis granulométrico", *Minería y Geología*, 3 (1) pp: 94 – 104, 1985.
34. RAMÍREZ, B.S: "Análisis granulométrico y composición química de los escombros lateríticos", Trabajo de diploma, ISMM. Moa, 1994.
35. RAMÍREZ, M. P., V. González: "Estudio de las fracciones menores de 1, 18 mm de los escombros lateríticos del sector A de la Mina Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A", Informe Técnico, ISMM, Moa, 2000 .
36. RAMÍREZ, M.P., J. Pons: "Beneficio de las fracciones granulométricas mayores de 0,83 mm de los escombros lateríticos de la zona A", Informe Técnico, ISMM, Moa, 2000.

37. RAMÍREZ, M.P., J. Pons y A. Dos Santos “Caracterización física, química y mineralógica de los escombros lateríticos del sector A de la mina de la Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A”, Informe técnico, ISMM, Moa. 2001.
38. RAMÍREZ, M. P., J. Pons: “Caracterización y posibles vías de utilización de los escombros lateríticos” Segunda Conferencia Internacional de Protección del medio ambiente, ISMM; Moa, 2001.
39. RODRÍGUEZ, A.C: “Prospección y exploración en las cortezas de intemperismo sobre ultramafitas en Nicaro y Pinares de Mayarí ”, Tesis doctoral, Santiago de Cuba, 1990.
40. ROJAS, A., A. Carballo: “Valoración mineralógica económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa”, *Minería y Geología*, XI (2) pp: 35-39, 1993.
41. ROJAS, P. A: “Principales fases mineralógicas portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa”, Tesis doctoral, ISMM, Moa, 1995.
42. SOBOL, S. Y: “Composición de la lateritas de Moa y su influencia sobre los procesos de lixiviación de minerales por ácido sulfúrico en autoclaves”, *Revista Tecnológica*, 5 pp: 23 – 30, 1969.
43. SOMOS, L: “Aluminio y cromo en las lateritas del yacimiento Pinares de Mayarí, provincia de Oriente”, *Tecnológica*, 3: 17 – 24, 1971.
44. SOSA, A: “Estudio geolo – geomorfológico del yacimiento Moa”, Informe técnico, ISMM, Moa, 1978.
45. SWARDJO, W. “Beneficio y posibilidades siderúrgicas de los escombros de los minerales lateríticos” *Revista Tecnológica*, 4 pp: 25 – 30, 1969.
46. VÁZQUEZ, D: “Obtención de concentrados de cromita a partir de las cortezas de intemperismo de Pinares de Mayarí ”, Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1992.
47. VERSHININ, A. S., F. Bravo y J. Rodríguez: “Vías para la utilización óptima de las lateritas niquelíferas”, *Minería y Geología*, II (1): 109 – 138, 1984.
48. WWW/minbas.com. Anon.
49. ZAMORA, J., L. Mojena, L. García, G. Frades, W. Swardjo: “Factibilidad de producción de aceros de baja aleación por procesamiento del hierro, cromo, níquel residual de la planta de Moa, por el proceso de reducción directa”, Informe Técnico, CIME, La Habana, 1976.

**Tabla 1. Contenido de los elementos químicos en la fracción -3,15 +2,2 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-3,15+2,2	0,5	6,87	0,54	0,010	44,1	0,58	8,03	2,57	1,94	0,10	0,008	0,022
	1	6,82	0,38	0,008	43,5	0,41	8,65	2,09	1,82	0,09	0,009	0,019
	2	9,57	0,38	0,008	44,2	0,28	8,44	1,78	1,85	0,07	0,009	0,017
	3	35,71	0,39	0,008	44,8	0,24	8,19	1,66	1,97	0,07	0,009	0,017
	NM	41,02	0,38	0,008	45,5	0,22	7,89	1,55	2,11	0,06	0,008	0,016
<b>Totales</b>		100	0,39	0,008	44,9	0,22	8,57	1,60	2,00	0,07	0,009	0,018

**Tabla 2. Contenido de los elementos químicos en la fracción -2,2 +1,25 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-2,2+1,25	0,5	6,07	0,71	0,010	43,8	0,25	8,45	1,90	1,73	0,09	0,01	0,019
	1	5,67	0,42	0,010	43,9	0,25	8,73	1,74	1,79	0,09	0,01	0,02
	2	19,60	0,40	0,010	44,7	0,23	8,34	1,64	1,94	0,07	0,008	0,018
	3	58,41	0,42	0,007	44,5	0,24	8,30	1,66	2,01	0,07	0,009	0,018
	NM	10,25	0,37	0,007	44,7	0,23	8,43	1,95	1,95	0,07	0,008	0,016
<b>Totales</b>		100	0,42	0,08	44,5	0,22	8,35	1,56	1,96	0,06	0,008	0,019

**Tabla 3. Contenido de los elementos químicos en la fracción -1,25 +0,51 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-1,25+0,51	0,5	4,17	0,34	0,010	42,4	0,34	8,63	2,01	1,85	0,12	0,012	0,022
	1	53,98	0,37	0,008	44,6	0,25	8,52	1,61	2,12	0,08	0,008	0,017
	2	30,56	0,36	0,005	44,5	0,23	8,72	1,56	1,99	0,07	0,009	0,016
	3	9,81	0,35	0,005	44,3	0,23	8,77	1,58	1,93	0,07	0,008	0,016
	NM	1,42	0,31	0,001	41,6	0,22	8,06	1,80	1,64	0,07	0,008	0,017
<b>Totales</b>		100	0,36	0,007	44,4	0,22	8,60	1,56	2,04	0,06	0,008	0,021

**Tabla 4. Contenido de los elementos químicos en la fracción -0,51 +0,25 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-0,51+0,25	0,5	3,64	0,34	0,019	39,4	0,29	8,81	1,97	1,43	0,20	0,012	0,024
	1	45,76	0,36	0,007	43,4	0,22	8,81	1,64	1,81	0,08	0,009	0,017
	2	43,41	0,34	0,005	43,1	0,21	8,89	1,55	1,69	0,07	0,009	0,017
	3	6,07	0,34	0,005	43,2	0,22	8,95	1,58	1,67	0,07	0,009	0,017
	NM	1,21	0,31	0,002	40,6	0,26	9,16	2,19	1,56	0,08	0,011	0,018
<b>Totales</b>		100	0,35	0,006	43,1	0,22	8,85	1,56	1,73	0,07	0,010	0,019

**Tabla 5. Contenido de los elementos químicos en la fracción -0,25 +0,074 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-0,25+0,074	0,5	1,39	0,37	0,045	34,0	0,26	5,87	1,80	0,22	0,30	0,018	0,040
	1	1,20	0,54	0,097	37,7	0,33	4,98	1,77	0,39	0,47	0,015	0,035
	2	2,19	0,40	0,061	34,2	0,29	5,16	1,72	0,12	0,40	0,019	0,035
	3	2,16	0,35	0,038	30,6	0,38	5,84	2,19	0,12	0,45	0,036	0,063
	NM	92,67	0,35	0,009	42,6	0,25	8,60	1,68	1,64	0,08	0,012	0,022
<b>Totales</b>		100	0,36	0,012	41,8	0,24	8,35	1,70	1,53	0,08	0,010	0,023

**Tabla 6. Contenido de los elementos químicos en la fracción -0,074 mm a diferentes intensidades.**

Clase (mm)	I (A)	$\gamma$ (%)	Contenido de los elementos (%)									
			Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr	Mn	Cu	Zn
-0,074	0,5	1,44	0,58	0,070	45,2	0,49	6,51	2,23	1,75	0,26	0,014	0,049
	1	2,47	0,39	0,032	36,3	0,36	6,58	2,15	1,14	0,23	0,022	0,05
	2	1,32	0,18	0,008	23,3	0,09	2,69	1,17	0,19	0,20	0,027	0,041
	3	2,22	0,36	0,024	32,9	0,34	5,53	2,19	0,35	0,24	0,023	0,063
	NM	92,55	0,35	0,007	41,9	0,39	8,65	1,74	1,76	0,09	0,26	0,029
<b>Totales</b>		100	0,35	0,009	41,4	1,26	8,42	1,76	1,69	0,09	0,011	0,022

**Figura 1. Difractograma correspondiente a la fracción + 10 mm.**

**Figura 1. Difractograma correspondiente a la fracción + 10 mm.**

**Figura 1. Difractograma correspondiente a la fracción + 10 mm.**

**Figura 2. Difractograma correspondiente a la fracción -6 + 5 mm.**

**Figura 2. Difractograma correspondiente a la fracción -6 + 5 mm.**

**Figura 2. Difractograma correspondiente a la fracción -6 + 5 mm.**

**Figura 3. Difractograma correspondiente a la fracción -5 + 4 mm.**

**Figura 3. Difractograma correspondiente a la fracción -5 + 4 mm.**

**Figura 3. Difractograma correspondiente a la fracción -5 + 4 mm.**

**Figura 4. Difractograma correspondiente a la fracción -0,85 + 0,3 mm.**

**Figura 4. Difractograma correspondiente a la fracción -0,85 + 0,3 mm.**

**Figura 4. Difractograma correspondiente a la fracción -0,85 + 0,3 mm.**

**Figura 5. Difractograma correspondiente a la fracción -0,3 + 0,25 mm.**

**Figura 5. Difractograma correspondiente a la fracción -0,3 + 0,25 mm.**

**Figura 5. Difractograma correspondiente a la fracción -0,3 + 0,25 mm.**

**Figura 6. Difractograma correspondiente a la fracción - 0,25 + 0,190 mm.**

**Figura 6. Difractograma correspondiente a la fracción - 0,25 + 0,190 mm.**

**Figura 6. Difractograma correspondiente a la fracción  $-0,25 + 0,190$  mm.**

**Figura 7. Difractograma correspondiente a la fracción  $-0,190 + 0,074$  mm.**

**Figura 7. Difractograma correspondiente a la fracción  $-0,190 + 0,074$  mm.**

**Figura 7. Difractograma correspondiente a la fracción  $-0,190 + 0,074$  mm.**