

CARACTERIZACIÓN DEL CONCENTRADO DE CROMITA DEL YACIMIENTO MERCEDITAS, UN CRITERIO PREVIO PARA LA CONFECCIÓN DE MEZCLAS TERMODIFUSIVAS

Characterization of the concentrate of chromite from Merceditas deposit, a previous approach for making thermomodifusives mixtures

Abel Arniella Orama¹
Adrián Alujas Díaz¹
Rafael Quintana Puchol¹
Carlos Díaz Águila²

E-mail: abelao@fim.uclv.edu.cua

¹ Centro de Investigaciones de Soldadura, UCLV

² Centro de Investigación de Biomateriales, UH

RESUMEN

Se caracteriza, desde el punto de vista fásico cuantitativo, el concentrado cromífero de características refractarias perteneciente al yacimiento Merceditas. Se emplearon técnicas de espectroscopía infrarroja y Mössbauer, de difracción de rayos-X, análisis químico y granulométrico. Se establece que el concentrado se encuentra constituido por las fases mineralógicas cromopicitita, antigorita y clorita, y se determinan sus respectivas fórmulas cristalocómicas. Mediante técnicas de análisis térmico (ATD, TG y TGD) se estudia el comportamiento térmico de una mezcla de concentrado cromífero con aluminio, con vistas a valorar las posibilidades de los productos de la reducción como componentes de mezclas saturantes para la termodifusión superficial de cromo y silicio en aceros.

PALABRAS CLAVE: cromita refractaria, reducción aluminotérmica, mezclas saturantes aluminotérmicas.

ABSTRACT

In this paper a quantitative physical characterization of the chromite concentrated with refractory characteristic belonging to the deposit Merceditas is presented, using for it technicals of infrared and Mössbauer spectroscopies, X-ray diffractometry, chemical and grain size analysis. It settles down that

the concentrate is constituted by the phases mineralogical well-known as chromopicitite, antigorite and chlorite, being determined its respective crystal-chemical formula. By means of the techniques of thermal analysis (DTA, TG and DTG) the thermal behavior of a mixture of chromite concentrated and aluminum is studied with the purpose to valuing the possibilities of the products of the reduction like component of saturating mixtures for the thermomodifusives surfaces of chromium and silicon in steels.

KEY WORDS: refractory chromite, aluminothermic reduction, saturating aluminothermic mixtures.

INTRODUCCIÓN

Cuba posee importantes yacimientos de cromitas refractarias y metalúrgicas, los que aportan a los investigadores dedicados a la aplicación de recubrimientos difusivos un nuevo y prometedor material, por sus características químico-estructurales, que une el incuestionable atractivo de su procedencia nacional a aspectos de tipo tecnológico y económico.

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización integral del concentrado de cromita del yacimiento Merceditas y estudiar el comportamiento térmico de la reducción de una mezcla del concentrado con aluminio, con vistas a establecer las posibilidades de los productos reducidos como componentes

de mezclas saturantes en los procesos de Tratamiento Termoquímico mediante la variante aluminotérmica en la obtención de capas termodifusivas de cromo en aceros.

El empleo de concentrados de cromita para sustituir las materias primas tradicionalmente utilizadas como fuentes portadoras de cromo en mezclas saturantes, es de notable importancia debido a su incidencia en la reducción de los costos del proceso de aplicación de los recubrimientos difusivos base cromo y a la posibilidad de obtener procesos de saturación simultánea con los elementos cromo en aceros.

No obstante, para posibilitar su utilización con el objetivo de cumplir tal propósito, constituye requisito necesario conocer la composición química, física y distribución granulométrica del concentrado cromífero, y, debido a que de estos parámetros dependen tanto la composición química y física de la mezcla saturante como importantes parámetros tecnológicos de su proceso de reducción aluminotérmica (González, 2001), también se hace necesario conocer su comportamiento térmico durante la reducción aluminotérmica, para definir niveles apropiados del parámetro temperatura de reducción.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de la distribución granulométrica

El concentrado de cromita estudiado fue tamizado en un vibrador modelo 029-T4 de fabricación rusa, empleando un juego de tamices (GOST) de: 2 500, 1 600, 1 000, 630, 400, 200, 100, y 50 μm . Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de arenas perteneciente al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fundación (CIDF).

Para caracterizar la distribución granulométrica del concentrado de cromita, resultan de importancia los parámetros estadísticos de tamaño promedio de grano \bar{d} , dispersión S_o y oblicuidad S_k . El valor medio de la fracción granulométrica entre dos tamices consecutivos de abertura de malla a_x y a_{x+1} se denomina clase granulométrica d_{clase} y se determina por $d_{\text{clase}} = (a_x + a_{x+1})/2$, que sirve para calcular el tamaño promedio de grano \bar{d} de la población granulométrica según la selección de la serie de tamices y se calcula

por la fórmula $\bar{d} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^n (d_{\text{clase}(i)} [\%])$, donde $[\%]$, representa la contribución en porcentaje de cada clase i en la masa granulométrica total. La dispersión de la población granulométrica se calcula mediante la fórmula

la $S_o = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}}$, donde d_{75} y d_{25} son los tamaños de grano

correspondiente al 75 % y 25 % de masa acumulada, acorde a la curva acumulativa ascendente o descendente. El predominio de clases granulométricas mayores o menores respecto a la mediana d_{50} en curva de

frecuencia, se determina por la oblicuidad $S_k = \frac{d_{75} \cdot d_{25}}{d_{50}^2}$,

donde d_{50} representa el punto de intersección de las curvas ascendente y descendente, que expresa el valor del tamaño de grano donde la población granulométrica se divide en dos masas iguales (50 %).

Determinación de la composición química

Los análisis químicos se realizaron a tres muestras de concentrado de cromita por el método Gravimétrico y de Absorción Atómica en el Laboratorio de Aseguramiento Metrológico y Ensayos del Centro (LAMEC), empleando la norma NC 40 - 14 de 1983; se obtuvo un rango de composición química, acorde con lo expuesto en la tabla 1.

El concentrado de cromita, perteneciente al yacimiento Merceditas, atendiendo a la capacidad de sus óxidos de ser reducidos por el aluminio, puede ser dividido en dos grandes grupos: los que presentan una baja estabilidad química y admiten su reducción (Cr_2O_3 , SiO_2 , FeO), y los que poseen una elevada estabilidad química, y por tanto, no resulta posible efectuar su reducción (Al_2O_3 , MgO , CaO) (Perdomo, 2000; González, 2002). A su vez, el primer grupo se subdivide en: óxidos que aportan elementos saturantes (Cr_2O_3 , SiO_2) y en óxidos no activos ($\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$) (Lajtin, 1987).

La diferente estabilidad termodinámica de los "óxidos" de la cromita dada por la Energía libre de Gibbs ($\Delta G^\circ = nRT \ln P_{\text{O}_2}^{\text{MeO}}$) permite llevar a cabo, paulatinamente, las reacciones REDOX entre ellos y el reductor (Al) a una temperatura dada. Lo cual está en dependencia de la presión parcial del oxígeno ($P_{\text{O}_2}^{\text{MeO}}$) de los reaccionantes y los productos de la reducción a una determinada temperatura en procesos isotérmicos, tal como lo expresan las ecuaciones siguientes:

Durante el proceso isotérmico de reducción aluminotérmica, los elementos multivalentes de los óxidos del cromo y el silicio pueden reducirse paulatinamente

desde el grado de oxidación superior hasta el inferior, tal como lo indican las ecuaciones siguientes:

Los valores de P_{O_2} (en Pa) calculados a partir de las ecuaciones (1)... (3) pronostican la factibilidad de la reducción aluminotérmica de la cromita ($\Delta G^\circ < 0$) a relativas bajas temperaturas ($\approx 1\ 000\ ^\circ\text{C}$):

$$\log P_{O_2}^{Al_2O_3} = -39,893 < \log P_{O_2}^{Cr_2O_3} = -24,158 <$$

$< \log P_{O_2}^{SiO_2} = -30,767$. En forma general, la estabilidad termodinámica de los óxidos se incrementa, si estos óxidos se encuentran en soluciones sólidas como en las cromoespinelas, pero aun a temperaturas relativamente bajas sucede que por un lado la estabilidad termodinámica de estos óxidos disminuye logarítmicamente y, por el otro, aumenta exponencialmente la velocidad de formación del óxido de aluminio con el incremento de la temperatura. La concurrencia conjugada de ambos fenómenos es lo que brinda la factibilidad de emplear concentrados de cromita refractaria como fuente de cromo en mezclas saturantes en procesos termodifusivos con el empleo de la variante aluminotérmica.

El valor de la relación de óxidos de cromo y de silicio presentes en el concentrado de cromita constituye un factor importante en la conformación de mezclas saturantes destinadas a la aplicación de procesos de cromosiliciuración a temperatura superiores a $800\ ^\circ\text{C}$, mediante la variante aluminotérmica dependiente de a qué fase estén asociados.

Caracterización física

La composición física del concentrado de cromita en estado de entrega puede influir sobre la capacidad de sus óxidos de reaccionar con el reductor (Al). Para su estudio se emplearon análisis espectroscópicos IR y Mössbauer, los cuales fueron complementados mediante Difractometría de rayos-X y donde a continuación se exponen las condiciones en las que se realizaron:

1. Espectroscopia Infrarroja (IR).

Se utilizó un equipo modelo EQUINOX de la firma Bruker y la técnica de pastilla presurizada de KBr al 1 % del concentrado cromífero. El rango de frecuencias empleado comprende desde 400 a $4\ 000\ \text{cm}^{-1}$.

2. Espectroscopia Mössbauer.

Se utilizó un espectrómetro Mössbauer de la firma Wiskel con una fuente de ^{57}Co a la temperatura del N_2 líquido y un rango de velocidades que comprende desde $-4,0$ hasta $4,0\ \text{mm/s}$. Para la deconvulsión del espectro se utilizaron los programas UNIVEM versión 3.6 y NORMOS versión 10.10.

3. Difractometría de Rayos X.

Para la realización de los ensayos de difractometría de RX se utilizó un equipo de difracción marca Phillips PW 1218, y los parámetros siguientes:

- Radiación utilizada: $\lambda\text{CuK}\alpha : 1.5406\ \text{\AA}$ filtrada con Ni.
- Corriente: 30 mA.
- Voltaje: 40 kV.
- Método de focalización según Bragg - Brentano.
- Rango angular 2θ : $4 - 60^\circ$.

Comportamiento térmico de mezcla de concentrado de cromita y aluminio

Una mezcla compuesta de concentrado de cromita y polvo de aluminio fue sometida a varias técnicas del Análisis Térmico (Térmico Diferencial, ATD; Térmico Gravimétrico, TG, y Diferencial Termogravimétrico, TGD), y las condiciones empleadas en los ensayos fueron las siguientes:

- Atmósfera: Aire.
- Velocidad de calentamiento: $10^\circ\text{C}/\text{min}$.
- Sustancia inerte: Alúmina calcinada.
- Crisoles de cerámica.
- Sensibilidad: ATD ($500\ \mu\text{V}$), TG (200mg) y DTG (1mV).
- Temperatura inicial: $27\ ^\circ\text{C}$.
- Temperatura final: $1\ 000\ ^\circ\text{C}$.
- Tamaño de grano: $55\ \mu\text{m}$.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra la composición química obtenida de los análisis realizados por el método Gravimétrico y de Absorción Atómica a tres muestras de concentrado de cromita.

Óxido	Contenido (%)	Óxido	Contenido (%)
Cr_2O_3	32.7-33.5	MgO	14.03-18.01
Al_2O_3	26.24-27.44	CaO	0.90-0.96
FeO	14.34-15.19	H_2O	1.10-1.80
SiO_2	3.34-5.46		

TABLA 2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CONCENTRADO SELECCIONADO							
Óxido	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	H ₂ O
Contenido (%)	32,82	5,46	15,91	26,84	16,13	0,94	1,80

La muestra de concentrado seleccionada para nuestro trabajo presenta la composición reportada en la tabla 2.

Los análisis de espectroscopía IR revelan la presencia de bandas características de las espinelas, las cuales aparecen en cuatro frecuencias de vibración (Fig. 1). Las bandas de mayor intensidad se encuentran a frecuencias de vibración correspondientes a $\nu_1 = 651 \text{ cm}^{-1}$, $\nu_2 = 514 \text{ cm}^{-1}$, mientras que las dos restantes (ν_3 y ν_4) están por debajo de 500 cm^{-1} . Otro pico de gran intensidad se revela en la región de frecuencias comprendida entre 960 y 1100 cm^{-1} , de forma coincidente con las bandas características de los silicatos (fases acompañantes). Esta banda corresponde con la vibración de valencia Si-O, lo cual es corroborado por la aparición en la región de 3686 cm^{-1} de la vibración de valencia del OH estructural, la que se diferencia con claridad de dos extensas bandas que la acompañan. La primera, en los 3566 cm^{-1} , corresponde al H₂O de constitución, y la segunda, en los 3442 cm^{-1} , al H₂O de adsorción.

En el espectro Mössbauer del concentrado se observan cuatro picos fundamentales, que son a su vez la envolvente de varias líneas. Al primer pico, por su posición, sólo contribuyen los cationes de Fe²⁺, y el análisis de su simetría hace evidente que viene dado por la suma de cuatro líneas que tienen su correspondiente pareja de doblete bajo el primer pico de la izquierda. A los dos picos centrales deben contribuir al menos dos dobletes. Basándose en estas observaciones se hizo la deconvolución del espectro Mössbauer,

y se logró un ajuste con un valor de $\chi^2 = 1,0$ (considerado como bueno).

Los resultados del espectro Mössbauer son reportados en la tabla 3, con la probable asignación para los dobletes. La definición del grado de oxidación de los cationes que contribuyen a cada doblete, así como la asignación a cada fase y tipo de sitio, se hace teniendo en cuenta la experiencia general sobre cromitas, silicatos y óxidos de hierro, y la relación experimental bien probada: $CI(Fe^{3+})_t < CI(Fe^{3+})_o < CI(Fe^{2+})_t < CI(Fe^{2+})_o$

Para el caso del primer doblete, sus valores de desdoblamiento cuadrupolar y corrimiento isomérico no dan una asignación clara a ninguna de las fases. Se asigna a la cromopicotita, teniendo en cuenta que ésta ocupa al menos un 85 % del concentrado, sin descartar su posible ubicación en la estructura de los silicatos que ocupan conjuntamente un 15 %.

El estudio roentgenofásico del difractograma realizado al concentrado de cromita seleccionado, con radiación monocromática CuK_α, ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) (Perdomo, 2000), corrobora la presencia de cromopicotita $\{(Mg, Fe)(Cr, Al)_2O_4\}$ y clorita $\{(Mg_{6-x}Fe_yAl_z)(Si_{4-x}Al_x)O_{10}(OH)_8\}$, que oscila en un rango de 3-5 % y antigorita $\{Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8\}$ en un rango de 5-9 % (Fig. 3).

La clorita está representada por los reflejos $d_{(004)} = 3,539 \text{ \AA}(72)$; $d_{(020)} = 4,598 \text{ \AA}(26)$; $d_{(005)} = 2,851 \text{ \AA}(26)$ y $d_{(202)} = 2,385 \text{ \AA}(16)$ (figura 3). A partir de las distancias interplanares $d_{(hkl)}$ pueden determinarse los valores de los parámetros x , y de la fórmula

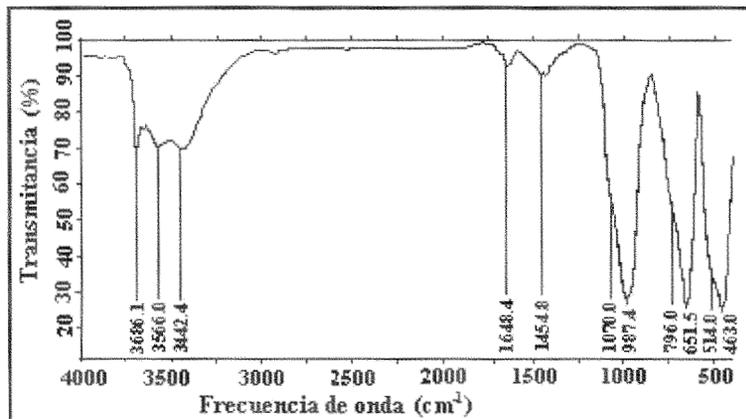


Figura 1. Espectro IR del concentrado seleccionado.

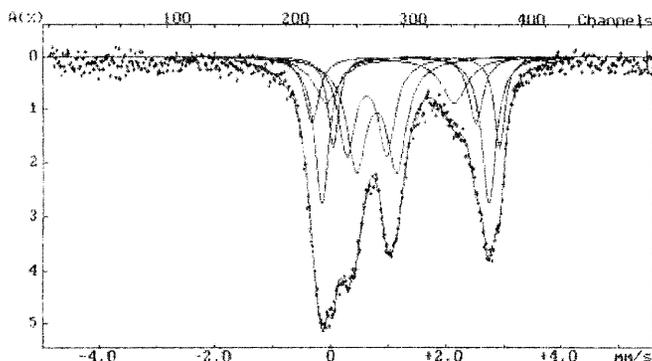


Figura 2. Espectro Mössbauer del concentrado seleccionado.

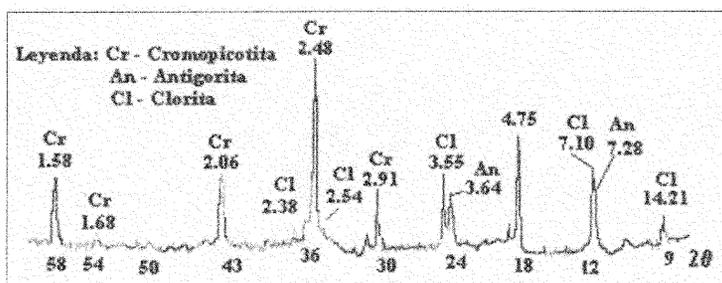


Figura 3. Difractograma del concentrado seleccionado.

TABLA 3. PARÁMETROS DEL ESPECTRO MÖSSBAUER DE LA MUESTRA ESTUDIADA

CI *	DC**	SA***	A****	Asignación		
				Catión	Sitio	Fase
1,289 (8)	2,896 (9)	0,34 (4)	23,3 (3)	Fe ²⁺	octaédrico (o)	Cromoespinela
1,484 (9)	2,87 (1)	0,28 (3)	13,1 (2)	Fe ²⁺	octaédrico	Silicatos
1,10 (1)	2,81 (1)	0,36 (4)	10,7 (1)	Fe ²⁺	octaédrico	Cromoespinela
1,02 (2)	2,17 (7)	0,64 (8)	14,2 (1)	Fe ²⁺	tetraédrico (t)	Cromoespinela
0,65 (2)	0,689 (7)	0,36 (3)	23,8 (2)	Fe ³⁺	tetraédrico	Cromoespinela
0,86 (2)	0,69(1)	0,37 (2)	14,9 (2)	Fe ³⁺	octaédrico	Silicatos

*Corrimiento isomérico; **Desdoblamiento cuadrupolar; ***Semiancho de pico; ****Área.

cristaloquímica. El valor de x se determina por la fórmula $d_{(001)} = 14,53 - 0,29x$. El de $d_{(001)}$ se calcula a partir de la distancia interplanar d (Å) del reflejo (004): $d_{(001)} = 4d_{(004)} = 14,156$ Å, sustituyendo en su respectiva fórmula se obtiene que $x = 1,21$. El valor de y se determina por la fórmula $b_o = 9,19 + 0,031y$. El valor b_o se calcula a partir de la distancia interplanar $d_{(020)} = 4,598$ mediante la relación $b_o = 2d_{(020)}$; $b_o = 9,196$ Å. Sustituyendo el valor de b_o en la fórmula se obtiene que $y = 0,20$. La fórmula cristaloquímica de la clorita resulta: $(Mg_{4,59}Fe_{0,2}Al_{1,21})(Si_{2,79}Al_{1,21})O_{10}(OH)_8$, que expresa la composición química siguiente:

32,74 % MgO; 29,85 % SiO₂; 22,00 % Al₂O₃; 2,57 % FeO; y 12,84 % H₂O.

La antigorita es una variedad laminar de la serpentina, que pertenece al sistema monoclinico. Se encuentra caracterizada roentgenométricamente por los reflejos: $d_{(002)} = 3,63$ Å(80); $d_{(16,01)} = 2,52$ Å(100) y $d_{(17,02)} = 2,442$ Å(20) (Fig. 3). A este mineral le corresponde la composición química siguiente: 43 % MgO, 44.1 % SiO₂, y 12,9 % H₂O.

La cromopicotita está caracterizada por los reflejos $d_{(311)} = 2,495$ Å(100); $d_{(111)} = 4,78$ Å(72); $d_{(400)} = 2,063$ Å(34) y $d_{(220)} = 2,918$ Å(2). La determinación

del parámetro reticular (a_0) se realizó por el método de Cohen, y arrojó un valor de $(8,225 \pm 3,10^{-4}) \text{ \AA}$. Según el diagrama consultado (Mijaeev, 1965; Ostroumov, 1986), la fase cromopicotita presenta un 38,50 % de Cr_2O_3 , y a partir de cálculos químicos y considerando la contribución química de la composición fásica alumosilicática, se llega a la fórmula cristaloquímica de la cromoespinela: $(\text{Fe}_x, \text{Mg}_{1-y})[\text{Cr}_x, \text{Al}_{2-x}]_2\text{O}_4$. Para las tres muestras de concentrados estudiadas, los cálculos arrojan los valores de los índices "x" e "y" que oscilan en un rango de 0,89-1,1 y de 0,40-0,48, respectivamente. En el caso específico del concentrado seleccionado, la cromopicotita presenta una composición química: 38,52 % de Cr_2O_3 ; 30,28 % de Al_2O_3 ; 12,50 % de MgO , y 18,70 % de FeO , que expresa valores de $x = 0,91$ y de $y = 0,44$, y resulta la fórmula cristaloquímica $(\text{Fe}_{0,44}, \text{Mg}_{0,56})[\text{Cr}_{0,91}, \text{Al}_{1,09}]_2\text{O}_4$.

Las fuentes portadoras de los óxidos refractarios Al_2O_3 y MgO lo constituyen las tres fases principales del concentrado de cromita; sin embargo, el SiO_2 es suministrado por la antigorita y la clorita. A partir del análisis químico del concentrado de cromita y de las composiciones químicas calculadas de los minerales individuales, puede determinarse, de forma aproximada, por recálculo el contenido de cada fase mineralógica en el concentrado de cromita: clorita, 5 %; antigorita, 9 %, y cromopicotita, 85 %. Los ensayos de difracción de rayos-X corroboran que la cromoespinela del concentrado posee características altamente refractarias, relación $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 38,52/18,70 = 2,06$.

Para caracterizar la distribución granulométrica del concentrado de cromita, resultan de importancia los parámetros estadísticos de tamaño promedio de gra-

no \bar{d} , dispersión S_o y oblicuidad S_k , que definen homogeneidad, mezclabilidad, grado de compactación, así como las densidades volumétricas y pignométricas del colectivo granulométrico (Fig. 4).

El valor del coeficiente de sorteo $S_o = 1,83$ indica que el concentrado cromífero presenta una dispersión aceptable ($S_o < 2,5$), concentrándose la mayor parte de la masa granulométrica cercana a la mediana de la curva sumatoria, mientras el valor del coeficiente de oblicuidad $S_k = 0,93$ revela que la distribución granulométrica presenta una alta simetría, lo cual expresa un balance equilibrado entre las fracciones gruesas y finas acorde al valor de la mediana d_{50} (tablas 4 y 5).

Una mezcla compuesta por 85 % de concentrado de cromita y 15 % de polvo de aluminio fue sometida a varias técnicas del Análisis Térmico para observar su comportamiento durante el proceso reductivo.

Los ensayos de TG corroboran que a partir de temperaturas algo superiores a los $150 \text{ }^\circ\text{C}$ se producen pequeños decrementos de masa, comportamiento atribuible a la destrucción paulatina de las fases acompañantes de la cromopicotita (antigorita y clorita), debido a la pérdida del H_2O de absorción que mantiene la estructura bicapa característica de estos silicatos (Fig. 5).

El desarrollo de la curva ATD indica aumentos de la curva base hasta la temperatura de $605 \text{ }^\circ\text{C}$, donde se produce un máximo, que corresponde a efectos exotérmicos sucesivos en amplio rango de temperatura ($\text{DT} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$). Ello indica que ocurren reacciones exotérmicas, que son cada vez más intensas a medida que la temperatura aumenta, atribuible este fenómeno a reacciones topoquímicas del aluminio con las diferentes fases localizadas en determinados puntos de los granos de la mezcla donde hay mayor probabilidad de la reducción.

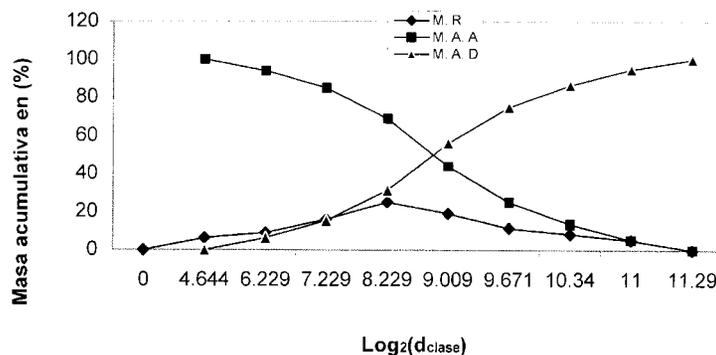


Figura 4. Distribución granulométrica del concentrado de cromita seleccionado en estado de entrega, donde: M. R. es la masa retenida para cada diámetro intermedio (de dos tamices); M. A. A. es la masa acumulada ascendente para cada diámetro intermedio, y M. A. D. es la masa acumulada descendente para cada diámetro intermedio.

TABLA 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL CONCENTRADO DE CROMITA

Clase (µm)	d _m (µm)	Log ₂ (d _m)	M.R (%)	M.A.A (%)	M.A.D (%)	d _i (µm)
>2500	2500	11,287	0	0	100,00	0
1600-2500	2050	11,001	5,32	5,32	94,68	109,06
1000-1600	1300	10,344	8,24	13,56	86,44	107,12
630-1000	815	9,671	11,39	24,95	75,05	92,83
400-630	515	9,008	18,98	43,93	56,07	97,75
200-400	300	8,229	24,91	68,84	30,16	74,73
100-200	150	7,229	15,93	84,77	15,23	23,90
50-100	75	6,229	8,96	93,73	6,27	6,72
0-50	25	4,644	6,27	100,00	0	1,57
			100,00			513,68

d_m: diámetro medio del tamaño de grano de la clase (ver Fig. 3).

TABLA 5. PRINCIPALES PARÁMETROS ESTADÍSTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA CROMITA ESTUDIADA EN ESTADO DE ENTREGA

Parámetros estadísticos del análisis granulométrico					
(S ₀)	(S _k)	d (µm)	d ₅₀ (µm)	d ₂₅ (µm)	d ₇₅ (µm)
1,83	0,93	513	461	243	813

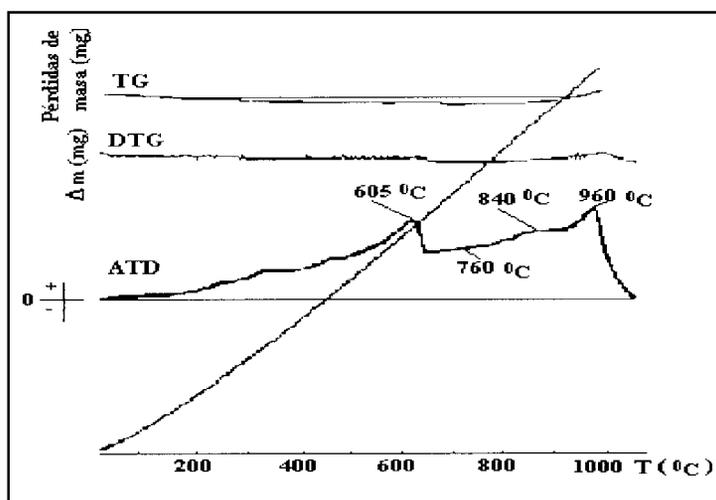


Figura 5. Termograma de mezcla compuesta por 85 % de la muestra + 15 % de aluminio.

El pico existente en la curva base a 605 °C coincide con el inicio de la fusión del aluminio, lo cual posibilita que este elemento se disgregue capilarmente, humectando toda un área del grano y como consecuencia se incremente la capacidad de reacción de las fases desde el punto de vista superficial.

De forma contrapuesta, sobre la intensidad del pico exotérmico actúa el efecto endotérmico vinculado al cambio de fase de sólido a líquido del aluminio, que no ha reaccionado en esta etapa. A temperaturas ma-

yores, la curva base comienza de nuevo un incremento exotérmico, y se observa una mayor pendiente a partir de 760 °C hasta 915 °C (con un pequeño pico a 840 °C), lo cual puede ser atribuido a la culminación de la reducción de los aniones complejos [Si_xO_y]⁻ atacados anteriormente y a la intensificación del ataque reductor a la cromopicotita (a partir de 760 °C), así como a la formación de una espinela de fórmula MgAl₂O₄. Se observa un nuevo pico a partir de 915 °C, con un máximo exotérmico a la temperatura de

960 °C, el cual indica la zona de mayor intensidad reductora dentro de la región experimental investigada. El hecho de que las inflexiones en la curva de DTG coincidan con los máximos del ATD, permite concluir que desde el punto de vista cinético las reacciones que rigen el proceso a estas temperaturas (605 y 960 °C) son las más favorecidas. Debido a la complejidad de la mezcla, se asume como probabilidad que a 605 °C se produce un aumento de la intensidad reductora del aluminio sobre las fases acompañantes, causado por su disgregación y que a la temperatura de 960 °C la reducción sobre los componentes minerales de la mezcla alcanza la máxima intensidad en el rango de temperatura estudiado.

CONCLUSIONES

1. Por su composición química, los concentrados tienen un potencial factible de ser utilizado en la obtención de mezclas saturantes destinadas a la aplicación de procesos de cromosiliciuración, pues presenta una relación $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ que abarca desde 6,01 hasta 10,00.
2. La conjugación de los métodos de Espectroscopía I.R, Mössbauer, Análisis Químico y Difracción de RX permite la identificación de las fases minerales en el concentrado seleccionado, su composición y cuantificación, así como sus características cristalógicas.
3. El análisis térmico diferencial de una mezcla aluminotérmica con un 15 % de aluminio demuestra que la reducción se evidencia en dos etapas fundamentales: una, correspondiente a la reducción de los silicatos en un rango de 150 °C hasta los 800 °C aproximadamente, y otra, que corresponde a la cromopicotita principalmente a los 960 °C, en el intervalo de temperaturas estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GONZÁLEZ RUIZ, J. E., 2001: "Obtención de recubrimientos difusivos de carburos complejos de cromo en aleaciones hierro-carbono a partir de cromita refractaria". Universidad Central Marta Abreu, Las Villas, Santa Clara. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 119 pp.
- GONZÁLEZ RUIZ, J. E., R. QUINTANA PUCHOL, A. DUFFUS SCOTT, A. RODRÍGUEZ CRISTO, 2002: "Influencia del contenido de carbono en el metal base sobre capas cromadas por difusión empleando cromita refractaria", *Revista Centro Azúcar*, en prensa, no. 2, año 2 (abril-junio), pp. 79-85.
- LAJTN, Y., B. ARZAMAZOV, 1987: *Tratamiento químico y térmico de los metales*, Ed. Mir, Moscú, 304 pp.
- MIJAEV, B. I., 1965: *Determinador roentgenofásico de minerales*, Ed. Nedra, Leningrado, 870 pp. NC - 14 - 83. "Minerales. Cromita refractaria. Análisis químico", 1983.
- OSTROUMOV, M., R. RODRÍGUEZ, A. CHIRINO Y R. LOZANO, 1986: "Características de la composición química de las cromoespinelas cubanas por el análisis de rayos X", *Minería y Geología*, 4 (1) : 31-43.
- PERDOMO, L., 2000: "Obtención de fundentes aglomerado para el recargue a partir de los productos de la reducción de cromita refractaria cubana", Universidad Central Marta Abreu, Las Villas, Santa Clara. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, 101 pp.
- PROENZA, J. A., 1998: "Mineralización de cromita en la faja ofiolítica Mayarí - Baracoa (Cuba). Ejemplo del yacimiento Merceditas". Universitat de Barcelona, Facultat de Geologia, Barcelona. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas, 112 pp.