

pos, 1980b; Carames y otros, 1983; Pérez y Pons, 1996). Entre los 950 y 980 °C comienza la transformación de la sillimanita en mullita, la cual posee una alta estabilidad química y una elevada refractariedad, comprobada posteriormente durante el revestimiento de las cazuelas de vertido.

Los resultados del análisis mineralógico evidencian la estabilidad de las fases caolinítica-gibbsíticas y de la goethita, la presencia de la cual, aunque no es significativa, es necesario tenerla en cuenta, ya que en este caso el hierro constituye una de las principales impurezas en los materiales refractarios.

Las fases secundarias principales presentes en las arcillas estudiadas corresponden a minerales de aluminio con contenidos relativamente bajos de impurezas que no afectan las propiedades refractarias del material.

Las mezclas refractarias preparadas con las arcillas ferro-caoliníticas gibbsíticas de la zona Cayo Guam se desplazan con suavidad sobre ladrillos refractarios poniendo de manifiesto la capacidad que tienen las mismas para adherirse a las paredes de las cazuelas.

Las cazuelas revestidas con el mortero refractario trabajaron durante más de seis meses recibiendo, cada una de ellas, más de 300 coladas, lo que representa valores por encima de la media de las cucharas actualmente utilizadas en el taller de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel.

Se observó además, que el mortero utilizado posee buena estabilidad térmica y mecánica, no detectándose contracciones ni dilataciones significativas en el revestimiento.

Los resultados obtenidos al usar la arcilla como hormigón refractario son excelentes, ya que en las cazuelas revestidas con este material se realizaron 30 coladas como promedio, mientras que en las tradicionalmente utilizadas sólo se pueden realizar alrededor de 5 coladas.

Igualmente se observó en la mezcla preparada una gran facilidad para adherirse a los ladrillos refractarios, además de poseer una alta estabilidad térmica y mecánica que le permite soportar el choque térmico con el metal líquido, el efecto abrasivo de las escorias y las altas temperaturas de colada cuando se vierten en las cazuelas diferentes tipos de aleaciones de hierro (FG-18, Fe-X, etcétera), aceros (40X, 40X24H12, etc.) con temperaturas que oscilaron entre 1 160 y 1 600 °C. Se pudo verificar también que tanto el metal líquido como la escoria salen con relativa facilidad, sin pegarse a las paredes.

Se comprobó la estabilidad química del material, así como la poca variación de sus dimensiones, todo lo que conlleva un aumento del tiempo de duración de las cazuelas.

## CONCLUSIONES

1. La preparación mecánica de las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam puede realizarse con relativa facilidad y obtenerse dos productos refractarios (mortero y hormigón) de gran aplicación en las empresas metalúrgicas del país.

2. Los análisis físicos y químicos y las pruebas tecnológicas demostraron las excelentes propiedades refractarias de las arcillas estudiadas y la posibilidad de su aplicación con un bajo costo de operación.
3. La fase sillimanita, presente alrededor de los 860 °C, se transforma a partir de los 959 °C en mullita, fase de alta estabilidad química y refractariedad.
4. En las arcillas refractarias de la región de Moa es común la presencia de caolinita, gibbsita y goethita como fases principales, unidas a fases secundarias de aluminio que elevan la refractariedad de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BATEMAN, A.M.: *Yacimientos minerales de rendimiento económico*, Universidad de Yale, EE.UU., 1977.
- BLANCO TORRENS, R. y L.G. SOTO: *Materiales de construcción*, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1976.
- BETEJIN, A.: *Curso de mineralogía*, Ed. Mir, Moscú, 1977.
- CAMACHO, J. y OTROS: *Características geólogo-tecnológicas de materias primas refractarias en la región de Moa para su utilización en el taller de fundición de la Empresa Mecánica del Níquel*, Informe técnico, ISMM, Moa, 1993.
- CAMPOS, D.: «Materiales refractarios: Generalidades y clasificación», *Revista Metalúrgica*, vol. 16, no. 2, pp. 113-130, 1980a.
- : «Materiales refractarios del sistema sílice-alúmina. II parte», *Revista Metalúrgica*, vol. 16, no. 6, pp. 343-348, 1980b.
- CAPELLO, E.: *Tecnología de fundición*, Gustavo Gili, Barcelona, 1974.
- CARAMES, L. y OTROS: *Contribución al conocimiento de los depósitos caoliníferos de Pontevedra*, Cuaderno de Laboratorio Xeológico de Laxe, no. 4, 1983.
- DIDIER, J.: *Materiales refractarios y sus características*, Edición española, 1983.
- GONZALO, B. y OTROS: «Evaluación de materiales cerámicos para la industria automotriz», *Minería y Geología*, vol. 12, no. 2, pp. 65-70, 1995.
- HURBULT, C.S. y C. KLEIN: *Manual de mineralogía de Dana* [s.l., s.n., s.a].
- JERÉZ, G.; C. LEYVA y J. PONS: *Estudio geólogo-tecnológico de las cortezas caoliníticas de la región de Moa*, Informe técnico, ISMM, Moa, 1995.
- MITROFANOV, S.Y. y OTROS: *Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales*, Ed. Mir, Moscú, 1982.
- LEYVA, C. y J. PONS: «Materias primas minerales de la región de Moa como materiales refractarios y aislantes térmicos en la industria del níquel», *Minería y Geología*, vol. 13, no. 1, 1996.
- PÉREZ, O. y J. PONS: *Análisis de prefactibilidad para la producción de refractarios a partir de materias primas locales*, Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1996.
- PONS, J. y C. LEYVA: «Empleo de las arcillas ferro-caolinítica-gibbsíticas de la zona de Centeno en los talleres de fundición», *Minería y Geología*, vol. 13, no. 2, 1996.
- SALCINES, C.: *Tecnología de fundición*, t. Y, Ed. Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1985.
- TITOV, D. y A. STEPANOV: *Tecnología de los procesos de fundición*, Ed. Mir, Moscú, 1981.
- TRIANA, T.: *Tecnología de los refractarios*, Ed. Ciencia y Educación, Ciudad de La Habana, 1971.
- ZAHN, R.: *Seminario de materiales refractarios*, La Habana, 1990.

# Mecanismo de filtración y de suspensiones lateríticas y compresibilidad de la torta

Ing. Armín Mariño Pérez  
Ing. Niurka Castillo López  
Dr. René Guardiola Romero

Instituto Superior Minero Metalúrgico Lú

**RESUMEN:** Se caracteriza la suspensión acuosa formada por la clase (-0,045) mm del mineral que se suministra a la empresa Moa Nickel S.A. «Comandante Pedro Soto Alba». La concentración de sólidos es de 35 %, el medio filtrante tela Belting, la temperatura alrededor de los 30 °C y el intervalo de presión de 0,5-0,9 at. Se demuestra que el proceso ocurre de acuerdo al mecanismo «con formación de torta». Se obtiene la ecuación empírica que describe el comportamiento de la resistencia específica de la torta en función de la presión.

**ABSTRACT:** The aqueous suspension formed by the (-0,045) mm mineral class, which is fed at the Moa Nickel S.A. «Comandante Pedro Soto Alba» nickel plant is characterised, being the solid concentration 35 %, the filter cloth used of a belting type, the temperature approximately 30 °C and the pressure ranged from 0,5 to 0,9 at. The process occurrence in accordance to the mechanism «with cake formation» is also demonstrated. The empirical equation describing the cake specific resistance behaviour against the pressure is obtained.

De acuerdo con investigaciones realizadas sobre los yacimientos lateríticos, diversas clases de tamaños se encuentran enriquecidas en diferentes valores metálicos (Hernández, 1994), quedando propuesta la posibilidad de lograr un enriquecimiento si se aprovecha convenientemente esta particularidad. El proceso de enriquecimiento por vía húmeda genera suspensiones de baja concentración que deben ser sometidas posteriormente a un desagüe, preferiblemente por sedimentación y filtración. No se conocen referencias sobre la filtración de este tipo de suspensiones.

## Principios Teóricos

Por velocidad de filtración se conoce el volumen de filtrado  $V_e$  que pasa a través de la unidad de área  $S$ , normal al sentido de movimiento del filtrado en la unidad de tiempo  $\tau$  (Malinowskaia, 1983). Su valor instantáneo se expresa como:

$$\omega = \frac{dV}{d\tau \cdot S} \quad (1)$$

La velocidad instantánea de filtración depende de la presión y de la resistencia total del medio filtrante  $R$  (incluye la resistencia de la torta), referida a la unidad de viscosidad  $\mu$ , conforme a la ecuación:

$$\omega = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad (2)$$

La resistencia total del medio filtrante puede ser función de la presión y del volumen de filtrado. La intensidad con que se incrementa la resistencia total a la filtración, a medida que se incrementa el volumen de filtrado obtenido a partir de una unidad de área de filtración (volumen específico de filtrado)  $V_e$ , puede ser descrita mediante la siguiente dependencia:

$$\frac{dR}{dV_e} = KR^n \quad (3)$$

donde:  $K$ , constante que caracteriza la intensidad con que se incrementa la resistencia total de filtración y  $n$  es un exponente.

Esta constituye la ecuación generalizada de la filtración. El exponente en la ecuación puede tomar valores desde  $-\infty$  hasta 2.

De acuerdo con su mecanismo, los procesos de filtración se clasifican como sigue:

- a) Con obstrucción total de poros del medio filtrante;  $n = 2$ .
- b) Con obstrucción paulatina de los poros del medio filtrante;  $n = 1$ .
- c) Transitoria;  $n = 1$ .
- d) Con obstrucción de los poros de la torta;  $n = 0,5$ .
- e) Con formación de torta;  $n = 0$ .
- f) Con resistencia constante;  $n = -\infty$ .

Por lo general, el modelo físico del proceso de filtración con obstrucción de los poros de filtración se idealiza. El medio poroso se representa en forma de un conjunto de capilares cilíndricos y paralelos, y en dependencia del tipo de filtración se supone que disminuye el número de capilares o su radio.

El modelo físico del proceso de formación de torta describe el proceso real con suficiente exactitud. La filtración del tipo transitoria no tiene modelo físico. El proceso real en muy pocos casos corresponde exactamente a alguno de los tipos de filtración mencionados, observándose las mayores desviaciones en el período inicial, fundamentalmente en el caso de suspensiones diluidas. Este período se somete con dificultad a la descripción matemática, ya que  $n$  disminuye paulatinamente. La filtración con obstrucción de los poros puede dar lugar a la filtración con formación de torta (Malinovskaia, 1983).

Esto se explica suponiendo que en la primera etapa, las partículas de diámetro menor que el de los poros del medio filtrante lo atraviesan sin ser retenidas; las partículas de tamaño comparable con el de los poros comienza a obstruir la tela. Paralelamente ocurre la formación de bóvedas frente a los poros, como resultado del acercamiento simultáneo de partículas pequeñas a la entrada del poro. De este modo, el arrastre de fase sólida por el filtrado disminuye paulatinamente, comenzando a formarse una torta sobre la superficie de la membrana de filtración.

Cuando el proceso ocurre a presión constante, al tratar los datos experimentales en los sistemas de coordenadas (Figura 1) es posible, en dependencia del mecanismo del proceso concreto, observar en cada sistema de coordenadas un comportamiento similar a una de las curvas representadas.

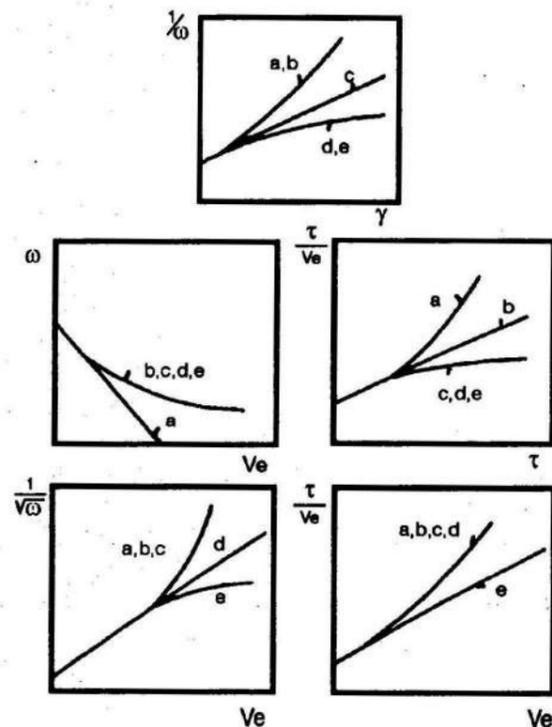


FIGURA 1. Curvas que caracterizan a la filtración de acuerdo con su mecanismo.

En la Figura se destaca que a cada mecanismo le es característico un sistema de coordenadas, donde el tratamiento de los datos experimentales conlleva la obtención de una línea recta.

**Filtración con formación de torta**

Cuando la filtración ocurre con formación de torta o con obstrucción de los poros de la torta, en cualquier instante de tiempo la resistencia total a la filtración incluye la resistencia del medio filtrante ( $\beta$ ) y la resistencia de la torta. Esta última se incrementa proporcionalmente al espesor de la torta y a su resistencia específica que puede estar dada en  $\text{cm/cm}^3$  ( $r_m$ ) o en  $\text{cm/g}$  ( $r_m$ ). Entonces, la velocidad instantánea de filtración ( $\omega$ ), teniendo en cuenta las ecuaciones 1 y 2, se expresa a través de:

$$\omega = \frac{dV_e}{d\tau} \frac{P}{\mu(r_m \cdot m_e + \beta)} \tag{4}$$

donde:  $m_e$  es la masa de sólidos depositada sobre la unidad de área de filtración,  $\text{g/cm}^2$ .

La dependencia concreta entre el volumen específico  $V_e$  y el tiempo de filtración  $\tau$  se determina integrando la ecuación anterior a presión constante, o velocidad constante, en dependencia del régimen de trabajo del filtro.

Para la integración se tiene en consideración que si la filtración ocurre de acuerdo con el mecanismo «con formación de torta», en la ecuación (3)  $n = 0$ ; entonces  $dV_e/d\tau = \text{constante}$ . Esto condiciona la constancia de  $r_m$  y  $\beta$  en la ecuación (4). Se admite además, la ausencia de sedimentación y la constancia de la relación masa de torta ( $m_e$ )/volumen de filtrado. O sea:

$$Z_m = \frac{m_t}{V} = \frac{m_t \cdot S}{V \cdot S} = \frac{m_e}{V_e} = \text{const.} \tag{5}$$

Luego de sustituir  $m_e$  en (4) a partir de (5), integrar desde 0 hasta  $V_e$  y desde 0 hasta  $\tau$  y realizar las transformaciones necesarias se obtiene:

$$\tau = \frac{V_e^2 \cdot \mu \cdot r_m \cdot Z_m}{2P} + \frac{\beta \cdot \mu \cdot V_e}{P} \tag{6}$$

La ecuación (6) describe una parábola del tipo

$$\tau = AV_e^2 + BV_e \tag{6a}$$

de donde:

$$r_m = \frac{2PA}{\mu \cdot Z_m} \tag{7}$$

En el caso de tortas compresibles la resistencia específica, es función de la presión. Entre los tipos de ecuaciones empíricas propuestas (Malinovskaia, 1983) se encuentran las siguientes:

$$r_m = r_{m,1} + \gamma \cdot P^{S_1} \tag{8}$$

$$r_m = r_{m,2} + \theta^{(S_2 \cdot P)} \tag{9}$$

Donde  $r_{m,1}$ ,  $r_{m,2}$ ,  $\gamma$ ,  $S_1$ ,  $S_2$ , son constantes que se determinan experimentalmente. En particular  $S_1$  y  $S_2$  se denominan, índices de compresibilidad. Aplicando el logaritmo estas ecuaciones pueden llevarse a lineales, obteniéndose:

$$\ln(r_m - r_{m,1}) = \ln \gamma + S_1 \ln P \tag{8a}$$

$$\ln(r_m) = r_{m,2} + S_2 P \tag{9a}$$

**Materiales y métodos**

A partir de una pila de 20 t de laterita de balance, muestreada en la mina de la empresa, se tomaron dos muestras por el método de las mallas, a partir de las cuales se obtuvo, mediante el tamizado húmedo, la clase (-0,045) mm con la cual se formó una suspensión cuya concentración se ajustó a 35 % (Gómez y González, 1995).

Cada muestra fue sometida a filtración bajo las presiones de enrarecimiento 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 y 0,9 at en una instalación discontinua a nivel de laboratorio, utilizando tela Belting parcialmente obstruida, colocada en posición vertical. El sentido de flujo fue de abajo hacia arriba.

El análisis de regresión se realizó mediante Microsoft Excel v. 7. Para el ajuste de los datos se empleó el programa «Amigo», software profesional desarrollado por el Departamento de Matemáticas del ISMM. El error de ajuste no excedió el 5 %.

**Resultados**

En la Tabla 1  $\tau$  es el tiempo transcurrido desde el comienzo de la filtración. El valor de  $V$  se obtiene sumando el volumen de filtrado observado en el recipiente graduado  $V_{ob}$ , el volumen de la línea desde el portafiltros hasta el recipiente graduado que es igual a 38 cm. El volumen específico de filtrado  $V_e$  se obtiene al dividir el volumen de filtrado por el área de filtración en el portafiltros, que es 81,71 cm. La masa de sólido en la torta,  $M_s$ , se determinó después de llevar la torta a la sequedad total.

TABLA 1. Datos experimentales obtenidos a 0,50 at

No.	$V_{ob}$ cm <sup>3</sup>	$V_{real}$ cm <sup>3</sup>	$\tau$ min	$V_e$ cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup>
1	0	0	0	0
2	0	38	2,17	0,465
3	12,5	50,5	3,08	0,618
4	25	63	4,58	0,771
5	37,5	75,5	6,05	0,924
6	50	88	7,66	1,077
6	62,5	100,5	9,53	1,230
7	75	113	11,50	1,383
$M_s = 105,7 \text{ g}$				

**Mecanismo**

La observación del proceso permite establecer como hipótesis que este ocurre de acuerdo con dos mecanismos posibles: filtración «con formación de torta» o filtración «con obstrucción de los poros de la torta». Esto simplifica el tratamiento de los datos experimentales quedando reducido al análisis de la dependencia  $\tau/V_e = f(V_e)$ , representada en la Figura 2 para las presiones de 0,5; 0,7 y 0,9 at.

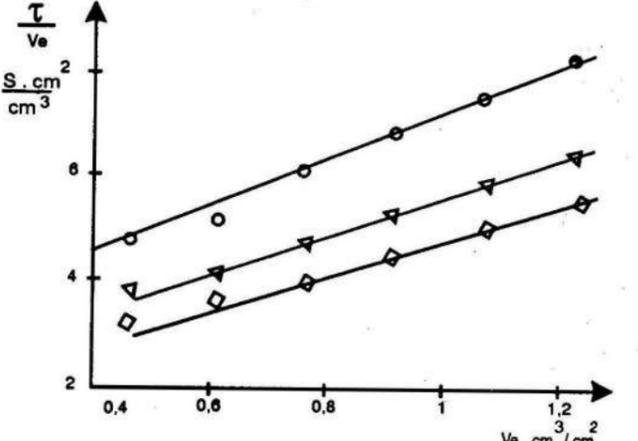


FIGURA 2. Curvas para determinar el mecanismo de la filtración: O- P = 0,5 at; ▽ p = 0,7 at y ◊ p = 0,9 at.

El análisis de las figuras demuestra que a partir del volumen específico  $V_e = 0,8 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ , el proceso ocurre «con formación de torta» sin que exista algún rasgo de obstrucción de los poros de la torta.

**Compresibilidad**

Con el propósito de determinar las constantes  $r_{m,1}$ ,  $\gamma$ ,  $S_1$ ,  $r_{m,2}$  y  $S_2$  presentes en las ecuaciones (8) y (9) y seleccionar la ecuación que con mayor precisión describa la dependencia de la resistencia másica en función de la presión, primeramente se determina la resistencia másica para cada valor de presión experimental mediante la metodología que se explica a continuación para el valor de presión igual a 0,5 at.

Según lo sugiere la ecuación (6a) se ejecuta el ajuste por parábola de los datos correspondientes a  $\tau$  y a  $V_e$  presentes en la Tabla 1, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\tau = 2,761 V_e + 4,048 V_e^2$$

Posteriormente se determina la resistencia másica por la ecuación (7), considerando que la viscosidad dinámica del agua a 30 °C es igual a  $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.s}$ , o sea,  $13,4 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.min}$

$$r_m = \frac{2,05 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 4,048}{13,4 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{105,7}{113}} \frac{\text{Pa} \cdot \left(\frac{\text{min}}{\text{cm}^6}\right)}{\text{Pa} \cdot \text{min} \cdot \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)}, \frac{\text{Pa} \cdot \text{min} \cdot \text{cm}^3}{\text{cm}^6 \cdot \text{Pa} \cdot \text{min} \cdot \text{g}} = 3,16 \cdot 10^{10} \text{ cm/g}$$

Una vez que se dispone de todos los valores de la resistencia másica de la torta  $r_m$  correspondiente a las presiones de experimentación, se grafica  $r_m = f(P)$  según muestra la Figura 3.

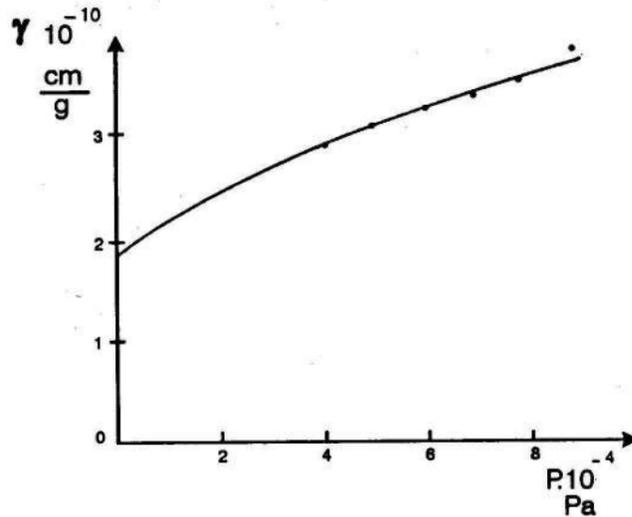


FIGURA 3. Comportamiento de la resistencia másica de la torta  $r_m$  en función de la presión.

A partir de la Figura 3 se obtiene el valor de  $r_{m,1} = 1,9 \cdot 10^{10}$  cm/g como el intercepto de la curva con el eje de las ordenadas. Posteriormente se completa la Tabla 2.

TABLA 2. Resultados parciales para obtener la dependencia empírica  $r_m = f(P)$

$P \cdot 10^{-4}$ (Pa)	Ln (P)	Ln ( $r_m$ )	Ln ( $r_m - r_{m,1}$ )
4,90	10,80	24,18	23,26
5,89	10,98	24,23	23,39
6,87	11,14	24,26	23,45
7,85	11,27	24,31	23,57
8,83	11,39	24,39	23,72

Una vez realizado el análisis de regresión a los valores de  $\ln(r_m - r_{m,1})$  vs  $\ln(P)$  y  $\ln(r_m)$  vs P, quedan ajustadas las rectas (8a) y (9a) como sigue:

$$\ln(r_m - r_{m,1}) = 15,16 + 0,748 \ln(P)$$

y

$$\ln(r_m) = 23,91 + 5,15 \cdot 10^{-6} \cdot P$$

En la Tabla 3 aparecen los resultados de regresión de acuerdo con las ecuaciones (8a) y (9a).

TABLA 3. Resultados del análisis de regresión

	Ecuación (8a)	Ecuación (9a)
Coefficiente de correlación múltiple	0,981	0,987
Coefficiente de determinación $R^2$	0,963	0,974
$R^2$ ajustado	0,951	0,965
Error típico	0,039	0,015
F	78	112
$F_{crítico}$	0,003	0,0018

De la Tabla se deduce que el mejor ajuste corresponde a la ecuación (9a), luego en la ecuación (9):

$$r_{m,2} = e^{23,91} = 2,42 \cdot 10^{10} \text{ cm/g}$$

$$S_2 = 5,15 \cdot 10^{-6}$$

Por lo que queda definitivamente:

$$r_m = 2,42 \cdot 10^{10} \cdot e^{5,15 \cdot 10^{-6} \cdot P}$$

donde [P] = Pa ; [ $r_m$ ] en cm/g .

CONCLUSIONES

Al someter a filtración la suspensión acuosa formada por la clase (-0,045) mm del mineral que se suministra a la empresa Moa Nickel S.A. «Pedro Soto Alba» con una concentración de 35 %, el medio filtrante tela Belting parcialmente obstruida, la temperatura alrededor de 30 °C y el intervalo de presión de 0,5 - 0,9 at se obtuvo como resultado que el proceso ocurre de acuerdo al mecanismo de filtración «con formación de torta».

De las ecuaciones empíricas estudiadas que describen el comportamiento de la resistencia específica de la torta en función de la presión, la que mejor se ajusta a los datos experimentales tiene la forma:

$$r_m = 2,42 \cdot 10^{10} \cdot e^{5,15 \cdot 10^{-6} \cdot P}$$

donde [P] = Pa ; [ $r_m$ ] en cm/g .

BIBLIOGRAFÍA

GÓMEZ, A. y G.J. GONZÁLEZ: *Desagüe de suspensiones lateríticas. Mecanismo de filtración y compresibilidad*, Informe de investigación, CICT-ISMM, Moa, 1995.  
 HERNÁNDEZ, A.: *Propuestas tecnológicas para la preparación del mineral alimentado a la empresa Cmde. «Pedro Soto Alba»*, Informe de investigación, CICT-ISMM, Moa, 1994.  
 MALINOVSKAIA, T.A.: *Rasdelenie suspensii v jimicheskoi promishlennosti*, 246 pp., Jimia, Moskva, 1983.  
 PAVLOV, K.F.: *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química*, 612 pp., Jimia, Moscú, 1976.

# Obtención y caracterización de una termita base para soldar aceros

Lic. Elizabeth Rodríguez González  
 Lic. Lorenzo Perdomo González  
 Dr. Rafael Quintana Puchol

Centro de Investigaciones de Soldadura

**RESUMEN:** Se analiza la posibilidad de obtención de una termita base a partir de materias primas cubanas y se realiza la caracterización de la misma para ser utilizada en la soldadura de aceros de bajo contenido de carbono. Como materia prima se utiliza cascarilla proveniente del proceso de laminado de las cabillas de Antillana de Acero y chatarra de aluminio de la EINPUD «Primero de Mayo». Se realiza un tratamiento previo a la materia prima y se logran las condiciones de reacción óptimas mediante un experimento factorial 2<sup>k</sup>. La evaluación de los resultados se realiza mediante un análisis espectral de emisión semicuantitativo visual de los elementos de interés (Al, Mo, Si, Mn, Cr y Ni), análisis gravimétrico de Si y análisis gasovolumétrico de C y S.

**ABSTRACT:** An analysis of the obtention and characterization of a base thermite was carried out expecting its further utilization for welding low-carbon steels using cuban raw materials: wastes from sheeting of belayin-pins and aluminium dross. A previous treatment is undertaken by these raw material and the reaction conditions are optimized through a 2<sup>k</sup> factorial experiment. The results were evaluated by means of spectral analysis of semi-quantitative emission of the elements: Al, Mo, Si, Mn, Cr, and Ni, gravimetric analysis of Si and gasovolumetric analysis of C and S.

El procedimiento de soldadura por termita es un proceso de unión de metales basado en la reacción termoquímica de carácter exotérmico que se produce frecuentemente entre un óxido metálico y un elemento reductor, que generalmente es el aluminio. Este tipo de reacción es aplicada en la obtención de metales puros como el cromo y el vanadio en procesos de metalurgia extractiva. Fue el propio Goldschmidt, al comprobar la gran cantidad de energía que se liberaba en la reacción exotérmica, quien propuso su aplicación en la soldadura.

Este procedimiento de soldadura comenzó su desarrollo a inicios del presente siglo, mostrándose como un método ideal para la unión de secciones metálicas con espesor que supera los 100 mm. Su aplicación más frecuente ha sido sustituir uniones mecánicas por las uniones soldadas en el tendido y acondicionamiento de las vías de sistemas de transporte público y de mercancías que utilizan carriles como medio de dirección y apoyo (O'Brien, 1992). Es utilizada tanto en las uniones acero-acero, como en las acero-cobre y cobre-cobre, desarrolladas más recientemente y aplicadas en sistemas de conducción eléctrica.

Las formulaciones de termitas varían en dependencia del mineral que se utilice para ella, y por ende, al variar este varían las propiedades de la termita. De acuerdo con esto se valoraron alternativas de formulaciones de termitas mediante la aplicación de diseño de experimento 2<sup>k</sup> y se caracterizaron químicamente los depósitos obtenidos (Lorenzo, 1994; López, 1988).

Las reacciones aluminotérmicas representativas en nuestro caso son:



Es de gran importancia destacar que la relación óxido metálico:aluminio en esta reacción estequiométrica es de tres partes de óxido de hierro por una parte de aluminio. Sin embargo, se utilizó la cascarilla que tiene un contenido de hierro superior al del óxido de hierro comercial, y la reacción ocurre completamente, esto se debe a que la energía desprendida en la reacción exotérmica es capaz de fundir todo el hierro en la mezcla.

Parte experimental

Se realizaron 10 experimentos para comprobar la posibilidad de formular una termita base con materias primas cubanas (cascarilla y aluminio en virutas). Para ello se preparó una mezcla de tres partes en peso de cascarilla y una parte en peso de virutas de aluminio para cada muestra.

Al tener en cuenta que las materias primas cubanas no reunían las condiciones óptimas para lograr un desarrollo satisfactorio de la reacción aluminotérmica, se realizó