



Tecnología Química

ISSN: 0041-8420

revista.tec.quimica@fiq.uo.edu.cu

Universidad de Oriente

Cuba

Pérez García, Liudmila; Garcell Puyáns, Leonel R.
EFECTO DE LA GRANULOMETRÍA Y DE LAS PROPIEDADES SUPERFICIALES
SOBRE LA REOLOGÍA DE LAS SUSPENSIONES CONCENTRADAS DE LATERITA
Tecnología Química, vol. XXVI, núm. 1, enero-abril, 2006, pp. 40-47
Universidad de Oriente
Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543749006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

EFFECTO DE LA GRANULOMETRÍA Y DE LAS PROPIEDADES SUPERFICIALES SOBRE LA REOLOGÍA DE LAS SUSPENSIONES CONCENTRADAS DE LATERITA

Liudmila Pérez García, Leonel R. Garcell Puyáns
Universidad de Oriente

En el presente trabajo se ha investigado el comportamiento reológico de suspensiones acuosas concentradas de laterita. Para la preparación de las suspensiones se emplearon tres muestras del mineral. En el trabajo se estudian los efectos de la composición mineralógica, del tamaño y distribución de tamaño de las partículas, y del pH de las suspensiones sobre las propiedades de flujo de éstas. Se llevó a efecto la caracterización detallada de todas las suspensiones seleccionadas. Las muestras minerales usadas en el estudio mostraron un amplio rango de distribución de tamaño de las partículas. Se ha propuesto una relación no lineal de tres parámetros para describir la distribución de tamaño acumulativa de cada muestra, y los valores calculados de las fracciones másicas muestran una excelente concordancia con los datos experimentales. Finalmente, la caracterización reológica de las suspensiones ha mostrado que el tamaño de las partículas ejerce una influencia importante sobre las propiedades de flujo de las suspensiones. Las viscosidades aparentes de las suspensiones tienen una apreciable dependencia del pH, mostrando sus máximos valores en las cercanías del punto de carga cero (p.c.c). En el caso de las suspensiones, preparadas con agua industrial de rebose, tiene lugar la adsorción específica del catión magnesio, fundamentalmente, sobre la superficie de las partículas, lo cual se evidencia por el desplazamiento observado del p.c.c hacia un pH más ácido.

Palabras clave: Reología, suspensiones acuosas concentradas, suspensiones de laterita, distribución de tamaño de partículas, punto de carga cero.

The rheological behaviour of concentrated aqueous suspensions of laterite has been investigated in this work. Three samples were used in making suspensions. This work examines the effects of samples mineral composition, particle size and size distribution, and pH of suspensions on the suspensions flow properties. Detailed characterizations of all test suspensions were carried out. Sample used in the study showed a wide range of particle size distribution. A three – parameter non linear relationship has been proposed for describing the cumulative size distribution for each sample, and the calculated values of mass fraction were found to be in good agreement with experimental data. Finally, rheological characterization of suspensions showed that the size of the particles plays a significant role in determining the flow properties of the suspensions. The apparent viscosities of the suspensions are strongly dependent of pH, reaching the highest values around the point of zero change (p.z.c). Specific adsorption of magnesium cations on particles, in the case of suspension prepared with industrial water, was revealed by a shift of the p.z.c value to acidic pH.

Key words: Rheology, concentrated aqueous suspensions, lateritic suspensions, partide size distribution, point of zero charge.

Introducción

En la literatura especializada se encuentran muchos trabajos que tratan sobre la caracterización de suspensiones acuosas de materiales puros, tales como óxidos, oxihidróxidos, arcillas y otros. En cambio, los trabajos acerca de las suspensiones constituidas por mezclas de materiales son más limitadas, y es por ello que el

estudio de suspensiones acuosas de mineralogía compleja, que en muchos casos son de gran interés industrial, continúa siendo un problema importante en los trabajos de investigación que se ocupan de los aspectos teóricos y prácticos relacionados con sus propiedades de flujo. De ahí que, el estudio de la reología de las suspensiones acuosas concentradas de materiales que se procesan y manipulan en las industrias metalúrgicas

cubanas de extracción de níquel y cobalto, adquiere para el país una importancia especial.

Trabajos previos demuestran que la reología de las suspensiones coloidales, o las que exhiben características coloidales debido a su alto contenido de partículas muy finas, es influenciada por muchos factores bien conocidos /2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11/, tales como la concentración de la fase dispersa, la temperatura, el tamaño, forma y distribución de tamaño de las partículas suspendidas, y las propiedades de la interfase sólido-agua (química de superficie).

En el presente trabajo se presenta la relación existente entre las características reológicas y de superficie con el tamaño y distribución de tamaño de las partículas en suspensiones de laterita. Las características de la química de superficie se analizarán a través del pH y de las magnitudes específicas de éste en el punto de carga cero (p.c.c) de las suspensiones.

Materiales y métodos

Origen y preparación de los materiales

En el presente trabajo, con fines comparativos, se analiza el comportamiento de suspensiones constituidas por muestras minerales con distintas características, y que permiten explicar el efecto general de determinados factores sobre la reología de las suspensiones.

Tres muestras compósito de laterita procedentes de distintos yacimientos de Moa fueron seleccionadas para este trabajo. Sus suspensiones fueron preparadas con agua destilada y con agua

industrial. Las partículas de dichas muestras son similares a las que se manipulan en la industria en cuanto a su tamaño y distribución de tamaño.

Pruebas reológicas e interfaciales

Las propiedades de flujo (reológicas) de las suspensiones fueron determinadas, como una función del pH, a la temperatura ambiente y a las concentraciones de 35 y 45 % en peso de sólidos con el reómetro de cilindros concéntricos Rheotest 2.1.

Las curvas de estabilidad (carga superficial de las partículas en función del pH de la suspensión) se obtuvieron mediante la técnica de titración potenciométrica /3, 4, 7/. El pH en las suspensiones fue medido con un peachímetro HANNA 211. Para lograr los cambios de pH se utilizaron soluciones de HNO₃ y de KOH.

Ensayos granulométricos

La distribución de tamaño de las partículas de las muestras se determinó por vía húmeda mediante el empleo de un juego de tamices que sigue la serie Tyler con un módulo de $\sqrt{2}$. Todas las muestras poseen partículas de tamaños superiores a 19 μm .

Resultados

Composición química de las muestras

Para el desarrollo del trabajo se analizaron tres muestras de laterita, cuyas composiciones químicas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1
Composición química de las muestras minerales

Muestras	Contenido, %									
	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn
M-1	1,5	0,123	43,78	1,87	3,49	8,19	1,72	0,95	0,016	0,031
M-2	1,12	0,087	49,2	0,32	3,39	2,20	2,33	0,52	0,014	0,031
M-3	1,34	0,118	48,9	0,3	3,59	2,68	2,33	0,71	0,015	0,049

Las muestras M-2 y M-3 se caracterizan por ser las que presentan mayores contenidos de hierro y menores de magnesio, lo que sugiere el predominio de minerales férricos en su composición. La muestra M-1 presenta mayor ley de Ni y Co, así como mayores contenidos de magnesio y sílice, lo que sugiere la posible presencia de serpentina.

El medio dispersante industrial utilizado para la preparación de las suspensiones de laterita es el líquido claro que se obtiene por la parte superior de los espesadores durante el proceso de sedimentación (agua de reboso) de una de las empresas metalúrgicas de Moa, que aplica el proceso de lixiviación ácida. En la tabla 2 se presenta la composición iónica de la misma.

Tabla 2
Composición iónica del agua de reboso, ppm.

Iones más importantes	Cl ⁻	Mg ²⁺	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Al ³⁺	SiO ₂	Na ⁺	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻
Conc, (p,p,m)	7,1	56	0,05	0,05	0,1	14,8	4,6	0,2	14,36

Como puede observarse en la tabla 2, en el agua de reboso predomina el contenido de iones magnesio y, en menor cuantía, el de la sílice. Por consiguiente, es de esperar que en la superficie de las partículas de laterita tenga lugar la adsorción específica del catión magnesio, fundamentalmente, como ha sido comprobado en trabajos anteriores. /3, 9/

Granulometría de las muestras minerales

En este trabajo se han seleccionado tres muestras de laterita, las que se han denominado M-1, M-2 y M-3. En la figura 1 se han representado las curvas que describen las distribuciones de tamaño acumulativas de éstas.

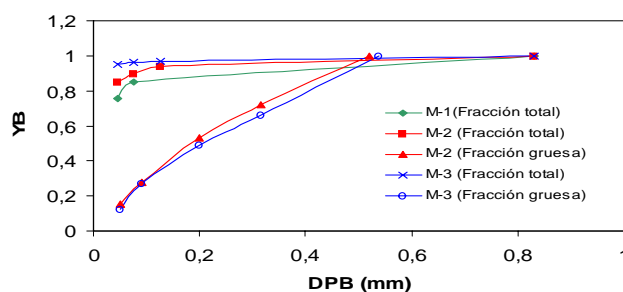


Fig. 1 Distribuciones de tamaño acumulativas correspondientes a las fracciones totales y las fracciones gruesas de las muestras M-1, M-2 y M-3.

En toda suspensión mineral, la práctica ha demostrado que la formación de estructuras depende de las partículas muy pequeñas (finas), debido a la acción de las fuerzas no hidrodinámicas. De acuerdo con la figura 1, ha de esperarse que la fracción total de la muestra M-3 es la que posee mayor capacidad de formar estructuras fuertes, comparativamente, dado que tiene los mayores contenidos de partículas finas, siguiéndole en orden descendente la muestra M-2 y luego la M-1. Para analizar los efectos de la distribución granulométrica de las fracciones gruesas (partículas mayores de 50 µm)

se han tenido en cuenta las muestras M-2 y M-3, de las cuales, la primera es la que posee mayor cantidad de partículas finas.

Modelo que describe la distribución de tamaños

Los datos experimentales de las distribuciones de tamaño acumulativas de las partículas de las muestras analizadas en el trabajo han sido ajustados a la expresión (1):

$$YB = A + B \cdot (DPB)^{-C} \quad (1)$$

donde YB es la fracción másica del sólido cernido en cada tamiz, y DPB es el diámetro, en mm, de partículas que han pasado por esos tamices. Los parámetros A, B y C para cada muestra se dan en la tabla 3. Puede observarse que las magnitudes de dichos parámetros disminuyen en la medida que aumenta el contenido de partículas finas.

Según los resultados de la tabla 3, los coeficientes de regresión, en todos los casos son mayores que 0,99; indicando con ello que la expresión (1) describe bien la distribución acumulativa de tamaño de las muestras seleccionadas. Ello es un índice de que, independientemente de la naturaleza de las muestras, las sus-

pensiones que se manipulan industrialmente en Moa están constituidas por fases sólidas cuyas partículas siguen un comportamiento similar en sus distribuciones de tamaño. Por otra parte, al disponer de una expresión que describe la granulometría de las suspensiones, es posible estimar magnitudes de YB para valores de otros diámetros de las partículas finas que no se han podido determinar por vía experimental. Además, los altos valores de los coeficientes de regresión para todas las muestras analizadas con granulometría gruesa, fina o de fracción total, apoyan la validez del modelo para diferentes muestras con distintas granulometrías en estos materiales.

Tabla 3
Parámetros de la expresión (1) para las distintas muestras.

Muestras		A	B	C	Coefficiente de regresión, R
M-1	Fracción total	0,987 3	0,030 4	0,010 5	0,999 9
M-2	Fracción total	0,985 4	0,026 8	0,006 2	0,998 7
	Fracción gruesa	0,276 1	1,428 0	0,009 9	0,997 7
M-3	Fracción total	0,981 1	0,024 8	0,001 4	0,999 2
	Fracción gruesa	0,251 0	1,426 4	0,009 8	0,999 9

Estabilidad de las suspensiones

La teoría DLVO (propuesta por Deryaguin – Landau y Verwey – Overbeek) sobre la estabilidad de las suspensiones, se basa en la interacción entre partículas, que da lugar a un resultado neto de las acciones de un componente repulsivo y de un componente atractivo. Esta teoría plantea que las fuerzas de atracción de Van der Waals son las responsables de promover la agregación entre partículas, lo que favorece el proceso de sedimentación; mientras que la estabilidad frente a la agregación se debe a las interacciones repulsivas que se producen por el solapamiento de las dobles capas eléctricas que rodean a las partículas (Repulsión de Born), provocándose la repulsión entre ellas, por lo que la suspensión se hace más estable y se retarda su sedimentación.

Cuando la interacción neta es repulsiva (a pH alejados del punto de carga cero, p.c.c), es de esperar un comportamiento newtoniano de la suspensión; en cambio, cuando la interacción neta es atractiva (en las inmediaciones del p.c.c) la suspensión puede exhibir comportamiento pseudoplástico o plástico debido a la formación de agregados o flóculos, o de una estructura (retículo). Éstas son las causas por las cuales la máxima viscosidad de las dispersiones se manifiesta hacia el pH del p.c.c o cercano a éste. Por tanto, la posición y forma de las curvas de flujo dependen de los diferentes grados de estabilidad que se obtienen a diferentes pH.

En la figura 2 se representan las curvas de estabilidad correspondientes a la suspensión de la muestra M-3 preparada con agua destilada; observándose que al aumentar la fuerza iónica las

cargas superficiales se incrementan, y, dado que se ha utilizado el mismo electrolito indiferente, el

p.c.c coincide para las dos fuerzas iónicas analizadas.

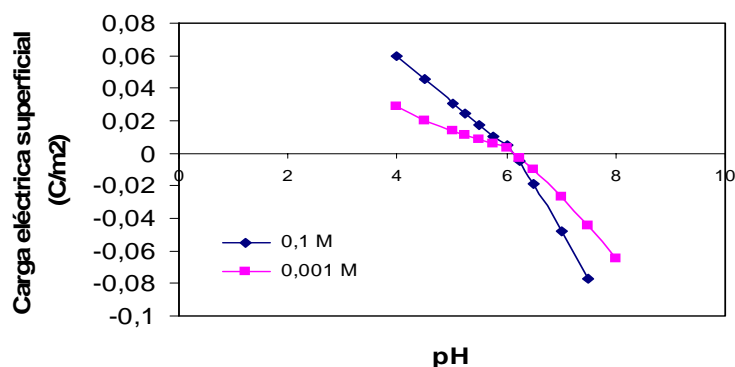


Fig. 2 Efecto de la fuerza iónica sobre las curvas de estabilidad de la suspensión de la muestra M-3 preparada con agua destilada, usando como electrólito indiferente el KNO_3 a las concentraciones de 10^{-1} M y 10^{-3} M.

En la figura 3 también se representan curvas de estabilidad de las suspensiones correspondientes a la muestra M-2, con el objetivo de observar el efecto del medio dispersante para una misma fuerza iónica. A diferencia del agua

destilada, el agua de reboso proporciona mayor carga superficial a las partículas y, además, desplaza el p.c.c hacia un pH más ácido, lo que indica que prevalece la adsorción neta del catión magnesio.

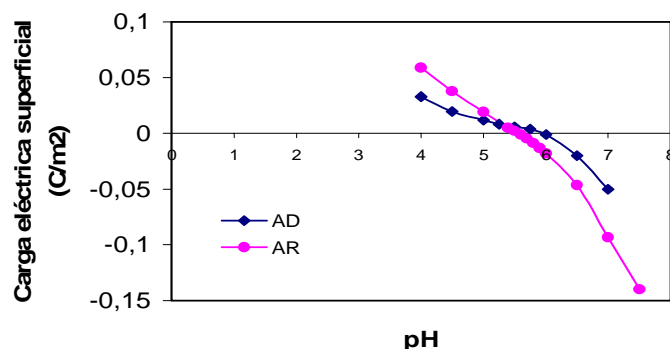


Fig. 3 Curvas de estabilidad de la suspensión de la muestra M-2, utilizando como medios dispersantes agua destilada y agua de reboso, y como electrólito indiferente el KNO_3 a la concentración de 10^{-3} M.

En la tabla 4 se muestran, a modo de resumen, los valores de los p.c.c correspondientes a cada una de las muestras estudiadas. En todos los casos, cuando la suspensión es preparada con

agua de reboso el valor de su p.c.c es menor que el que posee cuando se prepara con agua destilada, lo que concuerda con la explicación dada anteriormente.

Tabla 4
Valores de pH natural y del p.c.c de las suspensiones estudiadas, con ambos medios dispersantes.

Muestra	Agua destilada		Agua de rebose	
	pH natural	p.c.c	pH natural	p.c.c
M-1	6,83	6,9	6,3	6,2
M-2	5,93	6,05	5,7	5,575
M-3	5,92	6,025	5,81	5,545

Comportamiento reológico de las suspensiones

La figura 4 ilustra los cambios que experimentan las propiedades de flujo (curvas de

flujo) de las suspensiones estudiadas en el trabajo preparadas con agua destilada, en dependencia del tamaño y distribución de tamaño de las partículas sólidas, así como de sus propiedades coloidesquímicas.

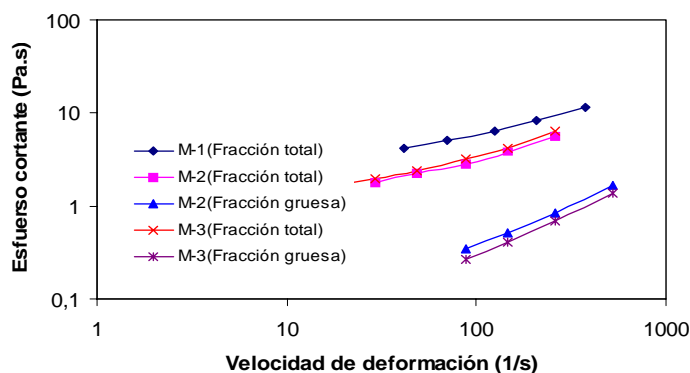


Fig. 4 Curvas de flujo de las suspensiones preparadas con las fracciones totales y gruesas de las muestras M-1, M-2 y M-3; 35 % de sólidos y pH = 6.

En la figura se observa que las suspensiones que poseen iguales concentraciones de sólido y pH, pero diferentes distribuciones de tamaño de partículas, presentan distintos valores de τ y exhiben diferentes comportamientos reológicos. Así, las suspensiones preparadas con las fracciones gruesas de las muestras (con una granulometría de partículas mayores que $50 \mu\text{m}$) muestran un comportamiento pseudoplástico y los valores más bajos de los esfuerzos cortantes. Ello se debe a que en los sistemas dispersos de partículas grandes no se manifiestan las propiedades coloidesquímicas, siendo sus estructuras relativamente más débiles. Sin embargo, cuando la distribución granulométrica corresponde a una fracción total con un alto contenido de partículas finas (fracciones totales de las muestras M-1, M-2 y M-3), las suspensiones adquieren características

coloidales efectivas en las que las fuerzas no hidrodinámicas ejercen un efecto importante; como es el caso de la suspensión de la muestra M-1 que, pese a tener una granulometría más gruesa que las otras dos, exhibe valores de mayores debido a que su pH natural se halla muy próximo a su p.c.c. Las curvas representadas en la figura (para las muestras de fracciones totales) describen el comportamiento típico de las suspensiones que poseen plasticidad, en las que tiene lugar la aparición de un esfuerzo cortante inicial, τ_0 , con la correspondiente formación de flóculos y agregados que dan lugar a estructuras mucho más fuertes. El ajuste de los datos experimentales se logró utilizando el programa profesional "Estadística". Los parámetros reológicos y los coeficientes de correlación obtenidos se resumen en la tabla 5.

Tabla 5

Valores de los parámetros correspondientes a los modelos reológicos de Ostwald de Waele y de Bulkley-Herschel ajustados a las fracciones gruesas y totales, respectivamente.

Fracciones totales				Fracciones gruesas			
Modelo de Bulkley-Herschel ($\tau = \tau_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$)				Modelo de Ostwald de Waele ($\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$)			
	M-1	M-2	M-3		M-1	M-2	M-3
τ_0	1,813 0	1,106 4	1,235 5	τ_0	-	-	-
K	0,195 7	0,041 66	0,039 1	K	-	0,003 9	0,003 1
n	0,656 2	0,838 0	0,874 5	n	-	0,969 8	0,979 4
R	0,999 5	0,999 9	0,999 7	R	-	0,996 8	0,998 2

Las características coloidales de las suspensiones son también influenciadas por la composición iónica del medio dispersante, la cual puede propiciar la adsorción específica de cationes o de aniones en las superficie de las partículas /5/. En la figura 5 se presenta la dependencia de la

viscosidad aparente con el pH para las suspensiones de laterita (muestra M-1) preparadas con agua destilada y con el agua industrial (del reboso de sedimentadores). Los datos han sido obtenidos a la temperatura ambiente y para una concentración de sólidos de 45 % en peso.

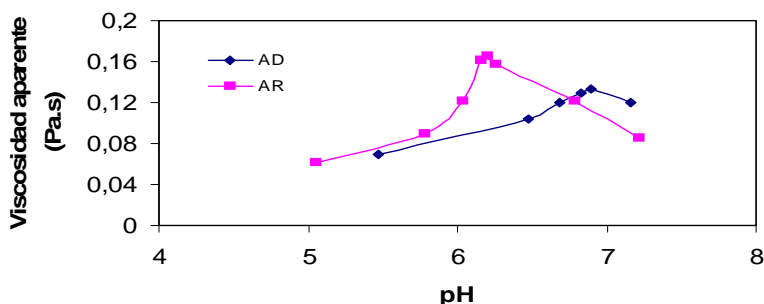


Fig. 5 Viscosidades aparentes ($D_r = 145,8 \text{ s}^{-1}$) en función del pH de las suspensiones de laterita (muestra M-1) preparadas con agua destilada (AD) y con agua industrial (AR) a 45 % de sólido.

Como se observa en la figura, las curvas que describen el comportamiento de las suspensiones indicadas tienen forma acampanada, correspondiendo el valor máximo de la campana al mayor valor de viscosidad y al pH conocido como punto de carga cero (p.c.c) /4,6,10,12/. En este punto, la suspensión adquiere la condición de máxima agregación y estructuración, ya que las fuerzas de repulsión se eliminan debido a que se anulan las cargas eléctricas netas en las superficies de las

partículas. La coincidencia entre el pH experimental de máximas viscosidades y el punto de carga cero (p.c.c), determinado por la técnica de titración potenciométrica /5,8/, es excelente. Para valores de pH superiores o inferiores al p.c.c, las viscosidades de las suspensiones disminuyen, indicando con ello que las estructuras formadas por las partículas agregadas se debilitan, dado que el componente repulsivo en el equilibrio de fuerzas toma mayor importancia.

Por otra parte, se observa que el p.c.c de la suspensión de M-1, preparada con agua industrial, se ha desplazado hacia un pH más ácido. Ello es típico de los casos de adsorción específica de cationes por la superficie de las partículas sólidas /4,6/. En las suspensiones de laterita se ha comprobado que tiene lugar la adsorción específica, fundamentalmente, del catión Mg^{2+} /3,9/, dado el alto contenido de este ion que posee el agua de rebose (ver tabla 1), de ahí el desplazamiento observado en el p.c.c. Finalmente, al comparar los valores de las viscosidades aparentes para magnitudes de pH fijas, se observa que la suspensión de M-1, preparada con agua industrial es más viscosa que la preparada con agua destilada, debido a que esta última posee una menor fuerza iónica, y, por consiguiente, la estructuración de sus partículas es menos efectiva.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos con el desarrollo del presente trabajo se ha llegado a las conclusiones siguientes:

1. Las muestras minerales seleccionadas poseen un amplio rango de tamaños y distribución de tamaño de sus partículas sólidas, con características de sistemas polidispersos. Esta diversidad en las dimensiones de las partículas permitió describir el efecto de la granulometría sobre las propiedades de flujo. La distribución de tamaño acumulativa de todas las muestras pudo describirse bien, con excelente ajuste de los datos experimentales, acorde con la expresión empírica

$$YB = A + B \cdot (DPB)^{-\frac{C}{DPB}}$$

2. El comportamiento reológico de las fracciones gruesas ($> = 0,05$ mm) se ha ajustado al modelo de Ostwald de Waele, mientras que para las fracciones totales se ha hecho para el modelo de Bulkley–Herschel, dadas las caracte-

terísticas plásticas que exhiben estas últimas debido a sus granulometrías.

3. La caracterización reológica de las suspensiones demuestra que tanto las características granulométricas, como el pH de las suspensiones ejercen una notable influencia sobre sus propiedades de flujo. Así, en las suspensiones de laterita la viscosidad y los esfuerzos cortantes disminuyen con el aumento del tamaño de las partículas. La viscosidad máxima se obtiene al pH = p.c.c. Este último parámetro es desplazado hacia pH más ácidos cuando se utiliza agua industrial para preparar la suspensión, debido a la adsorción específica del catión magnesio, fundamentalmente.

Bibliografía

1. Avramidis, K. S.; Turian, R. M., *J. Colloid Interface Sci.*, 143, N° 1, abril, 1991.
2. Baloch, M. K., *Rheol., Acta*, 28, 1989, págs. 316-320.
3. Beatón, M., Tesis de Maestría en Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2001.
4. Breuwsma, A.; Lyklema J., *J. Colloid Interface Sci.*; 43, N° 2, mayo, 1973.
5. Cerpa, A.; García-González, M. T., Tartaj, P., Requena, J.; Garcell, L. R.; Serna, C. J.; *Progr. Colloid Polym. Sci.*, 100, 1996, págs. 266-270.
6. Cornell, R. M.; Schwertmann, U., "The Iron Oxides", VCH, New York, 1996.
7. Garcell, L. R. y col., *J. Colloid Interface Sci.*, 205, 1998, págs. 470-475.
8. _____, *Revista Tecnología Química*, Vol.XV, N° 1, 1995.
9. Guardia, M., Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1994.
10. Leong, Y. K.; Scales, P. J.; Healy, T. W.; Boger, D. V., *J. Am. Ceram. Soc.*, 78, 1995, págs. 2209-2212.
11. Pérez, L., Tesis de Maestría en ingeniería Química, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 2004.
12. Ramakrishnan, V., Malghan, Pradip, S.G. J. *Am. Ceram. Soc.*, 79, No. 10, 1996, págs. 2567-257