

Caracterización coloidequímica y reológica de suspensiones acuosas de cieno carbonatado

Coloidhymic and reological characterization of aqueous suspensions of coral mud

Dra. Liudmila Pérez-García, Dr. Leonel R. Garcell-Puyáns

Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Química y Agronomía Santiago de Cuba.
lgarcell@uo.edu.cu

Resumen

En este trabajo se ha determinado la composición química, las características coloidequímicas y granulométricas, así como el comportamiento reológico del Cieno Carbonatado que se emplea en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión (LAP) de la Empresa Pedro Sotto Alba, en Moa. Se analizaron tres suspensiones, una industrial y otras dos preparadas en el laboratorio con diferentes medios dispersantes (agua del proceso industrial y agua destilada). Se determinó que todas las muestras presentan un contenido medio de 89 % en peso de Carbonato de Calcio y que el 70 % de las partículas poseen tamaños inferiores a 53 micrones, con una distribución granulométrica acumulativa que puede ser descrita por el modelo desarrollado en el trabajo de Pérez García [7], obtenido para describir la granulometría acumulativa de las partículas sólidas de suspensiones lateríticas. Las suspensiones acuosas de cieno carbonatado exhiben propiedades coloidales, las cuales son típicas de los sistemas polidispersos en medios acuosos, donde gobiernan las propiedades superficiales causadas por las partículas sólidas cristalinas de pequeño tamaño. Se comprobó que las magnitudes de los puntos de carga cero (p.z.c) de estas suspensiones dependen de la naturaleza de la fase sólida y de la composición iónica del medio dispersante, pues en las suspensiones preparadas con agua destilada la magnitud obtenida de su p.z.c es de 7,75; en cambio, para las preparadas en el laboratorio con agua del proceso industrial, el valor de su p.z.c es igual

a 7,45. En todos los casos el comportamiento reológico de estas suspensiones es típico de los sistemas que exhiben plasticidad, pudiendo ser descrito por el modelo reológico de Bulkley-Herschell con altos coeficientes de regresión.

Palabras clave: reología, cieno carbonatado, distribución de tamaño de partícula, punto de carga cero.

Abstract

In this work the chemical and granulometric compositions, the colloidal characteristics, as well as the rheological behavior of the coral mud that is used in the High Pressure Acid Leach (HPAL) process were determined. Three suspensions were analyzed, one industrial and two prepared in the laboratory, with different dispersing media (process water and distilled water). It was determined that all samples have an average content of 89% by weight of Calcium Carbonate and that 70% of the particles have sizes smaller than 53 microns, with a particle size cumulative distribution that can be described by the model obtained by Pérez García [7], for lateritic suspensions. The aqueous coral mud exhibits colloidal properties, which are typical of the polydisperse aqueous systems where govern the superficial properties caused by the small crystalline particles. It was found that the magnitudes of the zero charge points (p.z.c) depend on the nature of the solid phase and the ionic composition of the dispersing medium, since in the suspensions prepared with distilled water the magnitude of the p.z.c is equal to 7,75 and in those suspensions prepared in the laboratory with process water the value of the p.z.c is 7,45. In all cases the rheological behavior of these suspensions is typical of the systems which exhibit plasticity, and could be described by the Bulkley-Herschel model with high regression coefficients.

Keywords: rheology, coral mud, particle size distribution, zero charge point.

INTRODUCCION

Aunque en los últimos años la industria niquelífera cubana se ha visto afectada por los bajos precios del Mercado Internacional y el agotamiento de los yacimientos, sigue constituyendo uno de los rublos productivos de mayor aporte económico al país. El proceso tecnológico de la Empresa "Moanickel S.A-Pedro Sotro Alba", ubicada en Moa, se basa en la extracción del Ni y Co contenido en el mineral laterítico mediante lixiviación ácida, en autoclaves a alta presión. Para neutralizar la alta acidez del licor enriquecido con estos metales se emplea una suspensión acuosa de cieno carbonatado, con vistas a lograr el pH óptimo para su posterior precipitación en forma de sulfuros.

El cieno carbonatado es un mineral de color gris que se extrae de los yacimientos de coral de la bahía de Moa, acompañado de impurezas constituidas por caracoles y de otros restos marinos, y de arena sílice. Estas impurezas son denominadas, genéricamente, como "arenas". Este mineral es beneficiado y mezclado con agua de proceso para obtener una suspensión industrial de 15 a 25 %; que es lavada, con la finalidad de disminuir el contenido de iones cloruros, y, luego, se espesa hasta 35 a 40 % de sólido en tanques sedimentadores antes de alimentarla a la Planta de Neutralización. A pesar de que esta suspensión se bombea a través de una tubería de aproximadamente 5 km, en la fábrica se conoce poco acerca de sus propiedades de flujo; de ahí que en el presente trabajo se realiza su caracterización reológica y se analiza el efecto de las principales variables de influencia sobre sus propiedades de flujo, tales como el pH de la suspensión y la distribución granulométrica de la fase sólida.

Por todo lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo es determinar la composición química, las características coloidales y granulométricas, así como el comportamiento reológico del Cien Carbonatado que se emplea en el proceso de Lixiviación Ácida a Presión (LAP) de la Empresa Pedro Sotto Alba, en Moa.

MATERIALES Y METODOS

Para el desarrollo del trabajo se tomaron muestras industriales de suspensiones de cieno carbonatado a la entrada de los reactores de la Planta de Neutralización de la Empresa "Pedro Sotto Alba" de Moa, así como muestras de la fase sólida para la posterior preparación de las suspensiones en el laboratorio, tanto con agua destilada como con agua del proceso.

En las mediciones experimentales se aplicaron los métodos siguientes:

1. Análisis químico del medio dispersante y de la fase sólida.
2. Análisis de tamizado por vía húmeda y por vía seca.
3. Pruebas para la determinación de las características coloidales y de estabilidad de las partículas sólidas suspendidas en el seno de la dispersión.
4. Pruebas reológicas de las suspensiones por la vía de la reometría rotacional.

Composición química de los materiales

La composición química de la fase sólida se determinó mediante la técnica del método volumétrico por retroceso, el cual se fundamenta en la neutralización de la muestra con ácido clorhídrico, en la que un exceso de ácido es añadido, y, luego, éste es determinado por valoración con solución de hidróxido de sodio.

La composición química del agua de proceso se determinó por el método de Espectrometría de Emisión Óptica.

Distribución de tamaños de las partículas sólidas

Con el fin de determinar la composición granulométrica del mineral se realizó el cribado (húmedo y seco) de las muestras totales, para la separación de las partículas mayores de 830 μm (fracción de rechazo). Para ello se utilizó un juego de tamices dispuestos según la Serie Tayler, con un módulo de $\sqrt{2}$, y cuyas características se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Tamices utilizados y aberturas de las mallas (Serie de Tayler con módulo $\sqrt{2}$).

Tamiz (No de mallas)	Abertura de las mallas(mm)
20	0,833
30	0,589
35	0,417
48	0,295
50	0,3
65	0,208
100	0,15
150	0,104
200	0,075
270	0,053
325	0,043

Determinación de las características coloidales

Para la determinación de las curvas de densidades de carga superficial de las partículas, ζ , en función del pH, así como de las magnitudes de los puntos de carga cero (p.z.c) de las suspensiones, se ha empleado la técnica de valoración potenciométrica, la cual está muy difundida en la literatura especializada [2-6]. En los ensayos, se utilizó una instalación que posee un pechímetro **HANNA 211** para la medición del pH de las suspensiones. Esta prueba, que se realiza mediante valoraciones ácido-base a una concentración constante del electrolito indiferente (fuerza iónica), posibilita la determinación del punto de carga cero (p.z.c.), que es el valor de pH al cual la densidad de carga superficial de las partículas sólidas se anula. Los cambios de pH se efectuaron con soluciones de HNO₃ (0,118 M) y de KOH (0,9 M). Para mantener la fuerza iónica constante, durante las mediciones, se empleó una solución del electrolito indiferente KNO₃ (0,01 M).

Ensayos reológicos

Para los ensayos reológicos se utilizó un reómetro de cilindros concéntricos, Rheotest 2.1 de fabricación alemana, con una relación de radios de los cilindros de 1,06. En los reómetros (viscosímetros) rotacionales Rheotest, el esfuerzo cortante (τ) viene dado por el ángulo de deformación que experimenta un resorte interior, bajo la acción de las fuerzas de resistencia al flujo que se genera en la superficie del cilindro rotor. Así el equipo permite obtener, para las diferentes velocidades de rotación del rotor, los valores

correspondientes al indicador del torque, (α), que es proporcional a la magnitud del esfuerzo cortante, (τ), en cada caso. El esfuerzo cortante es función de la velocidad de deformación (gradiente de velocidad), (Dr). Esta función se representa, gráficamente, mediante las llamadas curvas de flujo, y sus correspondientes modelos reológicos que las describen.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las muestras de cieno carbonatado poseen una fase sólida que contiene 89,32 % de carbonato de calcio (CaCO_3), que le proporciona a sus suspensiones acuosas características plásticas y pH básicos, y un 10,68 % de impurezas sólidas acompañantes (arenas). El CaCO_3 está compuesto por dos fases mineralógicas: la *calcita* (52,80 % en peso) y el *aragonito* (47,20 % en peso), que muestran buena cristalinidad.

La composición química del agua de proceso con la que se preparan las suspensiones de cieno carbonatado se muestra en la tabla 2.

Tabla 2
Composición química del agua de proceso, (ppm)

pH	7,8
Conductividad, m s/cm	126
Alcalinidad parcial	0
alcalinidad total	61
dureza	84
calcio	12
Materia orgánica	2,0
PO_4^{2-}	1,90
SiO_2	14,36

Como se observa en la tabla 2, en el agua de proceso las magnitudes de la alcalinidad total y la dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+}) son elevadas, por lo que es de esperar que en la superficie de las partículas finas de CaCO_3 tenga lugar la adsorción específica de estos cationes, con la probable influencia que este hecho pueda causar sobre las propiedades de flujo de las suspensiones.

Distribución de tamaños de las partículas sólidas

Utilizando un juego de tamices que sigue la Serie de Taylor con un módulo de $\sqrt{2}$ (tabla 1), se determinó la clasificación granulométrica del cieno carbonatado. Con los datos obtenidos del cribado en húmedo se comprobó que la fracción mayoritaria corresponde a las partículas finas (menores que 0,026 mm), de ahí las características plásticas que muestran las suspensiones; no siendo así para el cribado en seco, donde se puede

observar que predominan partículas de mayor tamaño, producto de la formación de agregados de tamaños grandes, tal y como se muestra en la figura 1.

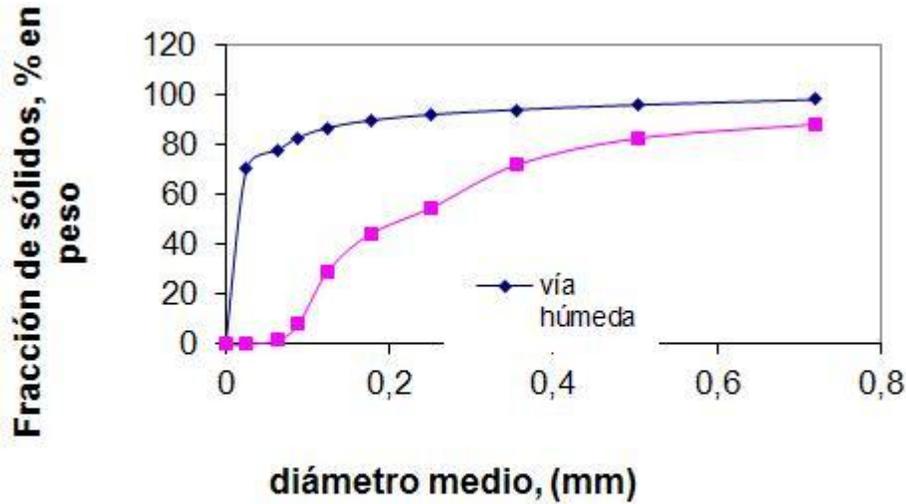


Fig. 1 Curvas de distribución de tamaño (acumulativas) del Cieno Carbonatado.

El comportamiento observado en el cribado en húmedo es el que poseen las muestras industriales, y se comprobó que la expresión (1) describe con una alta precisión los valores de la fracción de sólidos en peso, YB, en función de la correspondiente abertura del tamiz, DPB [7]:

$$YB = A + B * DPB - \frac{C}{DPB} \dots\dots\dots (1)$$

Los valores de los coeficientes A, B y C se dan a continuación en forma tabulada:

Muestra mineral	A	B	C	Coefficiente de regresión, R
Cieno carbonatado	0,950 73	0,056 774	0,013 05	0,999 81

Con este modelo es posible estimar magnitudes de YB para cualquier valor de DPB sin necesidad de realizar ensayos experimentales adicionales. Pudo comprobarse por información estadística, que la distribución de tamaños de las suspensiones industriales se mantiene muy estable.

Caracterización coloidequímica

Se realizó un análisis de las características coloidales y de la estabilidad de las partículas sólidas, suspendidas en el seno de las suspensiones de cieno carbonatado, en función del pH y de la fuerza iónica del medio dispersante. Se confirmó que las magnitudes de los puntos de carga cero (p.z.c.) dependen de la naturaleza de la fase sólida y de la

composición y fuerza iónica del medio dispersante, con el que se preparan las pulpas. En las suspensiones preparadas con agua destilada el p.z.c se mantiene fijo, para un valor dado de pH; en cambio, en las suspensiones industriales y en las preparadas en el laboratorio con agua del proceso, el p.z.c se desplaza hacia un pH más ácido, comparativamente con el valor del p.z.c de la suspensión con agua destilada. La carga superficial de las partículas, para los distintos valores de pH, depende del valor del punto de carga cero, lo cual puede verse con mayor claridad en las figuras 2 y 5.

En la figura 2 se presenta el comportamiento de las curvas de carga superficial (σ) en función pH, preparadas en el laboratorio con agua destilada y con agua de proceso para una concentración del electrolito indiferente (KNO_3) de 10^{-2} M. Puede observarse que la densidad de carga de las partículas, σ , es positiva para valores de pH inferiores al del p.z.c, y negativa para pH mayores que este. En la figura también se muestra el efecto que ejerce el tipo de agua (su composición química) con la que se prepara la suspensión, a la misma fuerza iónica. Debido a ello, puede apreciarse cómo tiene lugar el desplazamiento del p.z.c. hacia un pH más ácido, para la curva correspondiente a la suspensión preparada con agua del proceso, indicando con ello que ha tenido lugar la adsorción específica de cationes [3, 4, 5, 6, 9].

En el caso del cieno carbonatado, el desplazamiento del p.z.c hacia un pH ácido, se atribuye a la adsorción específica selectiva de iones Ca^{2+} presentes en el agua del proceso, ya que el catión calcio constituye uno de los iones determinantes del potencial electrocinético de la doble capa eléctrica que se forma en la superficie de las partículas sólidas del carbonato de calcio (calcita) [2, 9,10]. Es muy probable que los cationes Mg^{2+} , presentes también con un alto contenido en el agua de proceso, sean intercambiados por cationes de Ca^{2+} en la superficie de las partículas de calcita [10]. Esta capacidad de adsorción de iones (cationes) por las partículas sólidas de los compuestos cristalinos, así como la magnitud de los p.z.c que esos compuestos alcanzan, encuentra una sólida base teórica y práctica cuando se tiene en cuenta el potencial iónico de los cationes y la influencia que dicho potencial ejerce sobre la adsorción específica de iones y sobre el p.z.c, en general, tal como ha sido investigado y sugerido en varias fuentes [2]. Comportamientos similares a los descritos en el presente epígrafe han sido igualmente observados en suspensiones acuosas de laterita [2, 3, 4, 8].

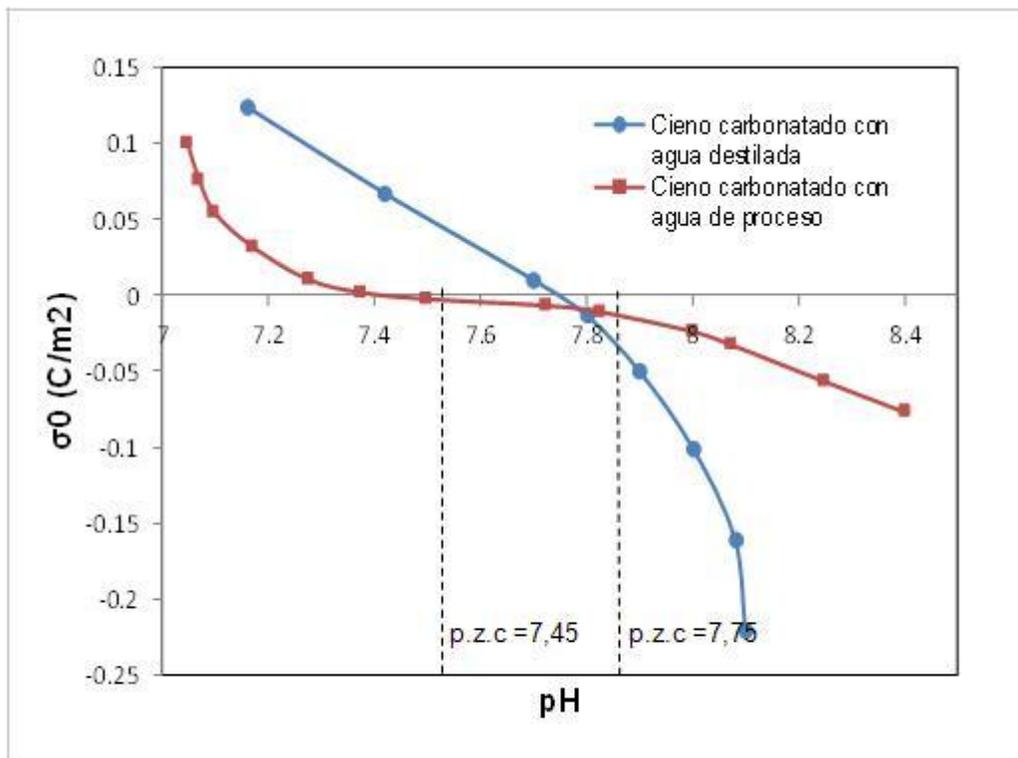


Fig. 2 Densidad de carga superficial en función del pH de suspensiones de cieno carbonatado.

En la tabla 3 se muestran los diferentes valores de p.z.c. y de pH natural para las suspensiones preparadas con agua destilada y con agua de proceso.

Tabla 3

Valores del pH natural y del p.z.c., de suspensiones de cieno carbonatado preparadas en el laboratorio con agua destilada y agua de proceso

Agua destilada		Agua de proceso	
pH natural	p.z.c.	pH natural	p.z.c.
7,66	7,75	7,74	7,45

Los valores de los p.z.c obtenidos para las suspensiones de cieno carbonatado estudiadas aquí, tanto la industrial como las preparadas en el laboratorio, son menores que los publicados en los trabajos [9,10] para la calcita, que es la fase mineralógica mayoritaria que compone el carbonato de calcio del cieno carbonatado. En esos trabajos los p.z.c reportados están comprendidos para valores de pH entre 8 y 10. Ello se atribuye, por una parte, a la probable diferencia en la composición de los medios de dispersión, y, por otra parte, a que la presencia de aragonito en el cieno carbonatado, que es la otra fase mineralógica presente en el cieno carbonatado, lo cual introduce comportamientos diferentes en las suspensiones.

En la figura 5 se aprecia que la estabilidad de las partículas suspendidas depende del valor del pH de la suspensión, ya que a pH próximos al p.z.c la fuerza de atracción entre partículas aumenta por lo que con mucho mayor facilidad forman flóculos y sedimentan, pudiendo la suspensión alcanzar la máxima viscosidad y pérdida de la estabilidad de las partículas. En cambio, para valores alejados del p.z.c, predominan las fuerzas de repulsión entre partículas, por lo que estas se separan una de otras, ganando en estabilidad, lo que trae por consecuencia que la suspensión no sedimente y disminuya su viscosidad.

Caracterización reológica. Influencia de distintos factores sobre la viscosidad

Se realizó la caracterización reológica de la muestra industrial de cieno carbonatado a diferentes temperaturas, manteniendo constante su contenido de sólidos (32,4 %), obteniéndose las curvas de flujo presentadas en la figura 3. Estas curvas fueron ajustadas al modelo reológico de Bulkley-Herschel (2):

$$\tau = \tau_0 + K. (Dr)^n \dots\dots\dots (2)$$

donde

Dr es la velocidad de deformación (gradiente de velocidad)

τ el esfuerzo cortante, ambos generados en el sistema de flujo.

Los restantes símbolos son los parámetros reológicos típicos del modelo.

Para el ajuste de los datos experimentales se utilizó el Programa profesional "Estadística", mostrándose los parámetros reológicos obtenidos en la tabla 4, con un índice de regresión superior al 99 %. Con estos resultados se pudo comprobar que, con el aumento de la temperatura, los parámetros reológicos del modelo: τ , τ_0 , *K* disminuyen, mientras que *n* aumenta, observándose una disminución de la viscosidad de las suspensiones con el incremento de la temperatura.

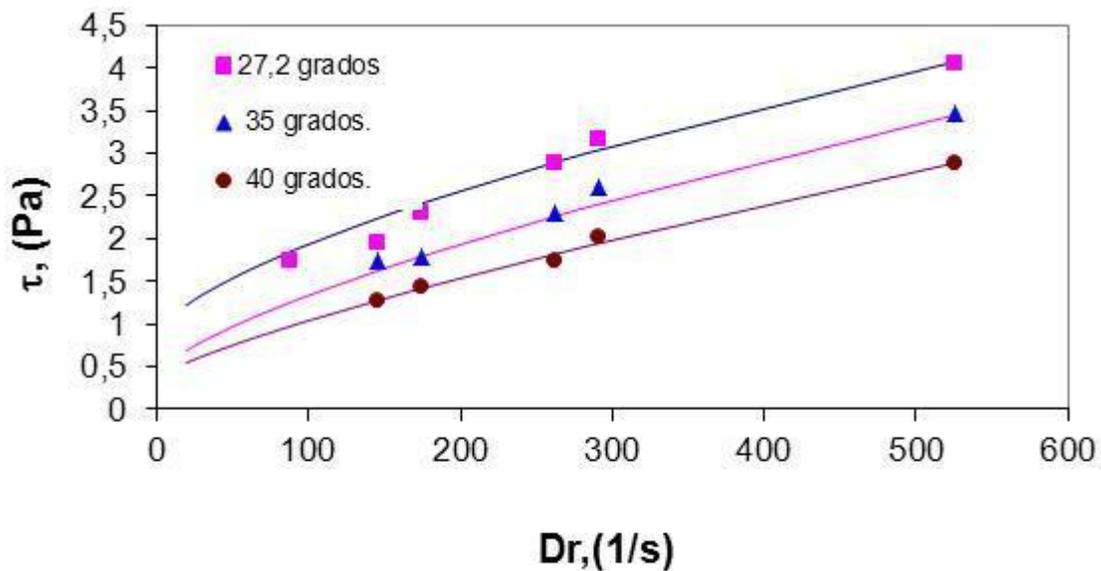


Fig.3 Curvas de flujo de la suspensión industrial de cieno carbonatado a diferentes temperaturas, 32,4% de sólidos y un pH natural de 7,7.

Para estudiar el efecto del medio dispersante sobre la reología del cieno carbonatado también se prepararon suspensiones con agua de proceso y con agua destilada. Sus curvas de flujo se muestran en la figura 4, a pH natural, temperatura ambiente y 32 % en peso de sólidos. Según la posición de las curvas y los valores de sus parámetros reológicos (ver tabla 4), el comportamiento de la muestra industrial difiere de la preparadas en el laboratorio, ya que estas últimas pierden su plasticidad. Esta diferencia puede atribuirse a las condiciones de preparación de la suspensión industrial, donde la agitación y el bombeo juegan un papel preponderante en las propiedades superficiales de las suspensión, debido a la disminución del tamaño de partículas que facilita la formación de estructuras más fuertes que dan lugar a un aumento de su viscosidad. No ocurre así en las suspensiones preparadas en el laboratorio, en las que el tamaño mayor de sus partículas forma estructuras más débiles y una disminución de sus viscosidades. Por otra parte, en estas dos últimas suspensiones, la composición iónica de sus respectivos medios dispersantes constituye un aspecto importante que las diferencia, ya que provoca una variación de sus pH de los respectivos valores de sus puntos de carga cero (p.z.c), tal como se ha analizado anteriormente lo cual tiene un efecto sensible en la viscosidad de la suspensiones (figura 5) y en sus propiedades de flujo [1, 8].

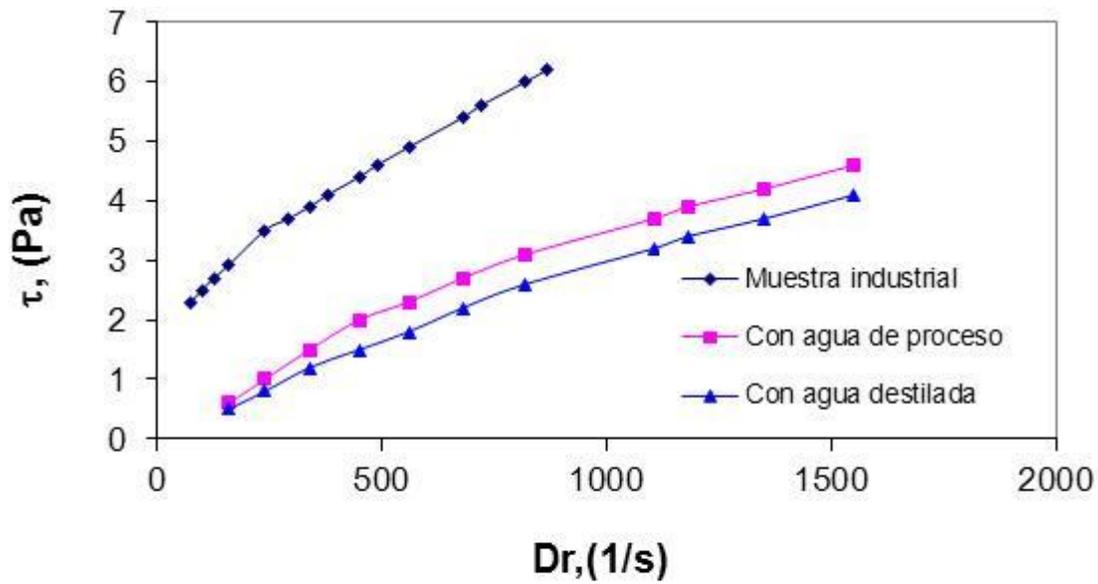


Fig.4 Curvas de flujo de la suspensión industrial y de las pulpas preparadas en el laboratorio con agua destilada y con agua del proceso.

Tabla 4

Valores de los parámetros correspondientes al modelo reológico de Bulkley-Herschel

$\tau = \tau_0 + K \cdot (Dr)^n$							
Muestra	T_r (°C)	% S	pH	τ_0	K	n	R
Cieno Carbonatado industrial	27,2	32,4	7,79	0,846 7	0,053 2	0,655 3	0,994 4
	35	32,4	-	0,391 8	0,036 1	0,708 7	0,997 1
	40	32,4	-	0,355 9	0,018 0	0,789 2	0,995 7
Con agua de proceso	27,4	32		-	0,015 3	0,774 1	0,995 6
Con agua destilada	27,3	32		-	0,014 5	0,773 6	0,999 2

Para determinar el efecto del pH sobre la viscosidad se utilizó una pulpa industrial y otra preparada en el laboratorio con agua destilada, ambas con una concentración de 45 % en peso de sólidos. Luego, se determinaron sus viscosidades a diferentes pH, tal como se muestra en la figura 5.

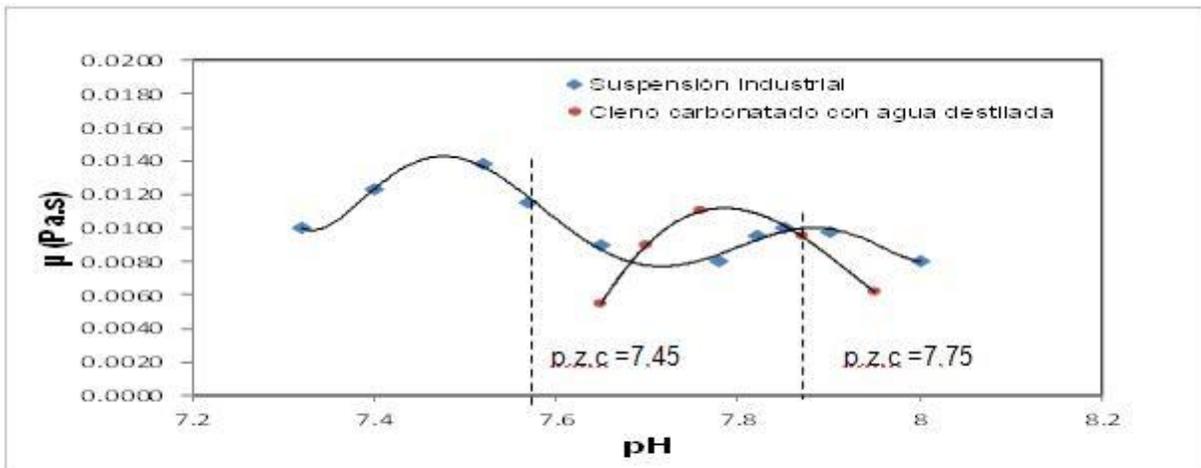


Fig. 5 Dependencia de la viscosidad aparente (para $Dr= 525 \text{ s}^{-1}$) con el pH para la suspensión industrial y para la preparada a 45% con agua destilada.

Se observa que ambas curvas tienen forma acampanada, coincidiendo los puntos máximos de la campana con las respectivas mayores viscosidades de las suspensiones y con el pH que da lugar a sus respectivos p.z.c. Para estas condiciones, las pulpas adquieren las características de máxima floculación y estructuración, y, por consiguiente, la de mínima estabilidad de las partículas, como ya se ha explicado en el epígrafe 3.2. Puede observarse, también, que la viscosidad máxima, correspondiente al p.z.c de la suspensión preparada con agua destilada es un poco menor que la obtenida en el p.z.c de la pulpa industrial, bajo condiciones similares de temperatura y concentración de sólidos. Ello se atribuye a que en la pulpa industrial la fuerza iónica es mayor, dada la composición iónica que posee.

El comportamiento observado y analizado en las suspensiones de cieno carbonatado en el presente epígrafe, acerca de su reología y de los factores de influencia ha sido el esperado, ya que se corresponde con el comportamiento reológico de distintas dispersiones minerales sólido-líquido de diferentes naturalezas y que exhiben plasticidad y características coloidales, tal como ha sido reportado en diversos trabajos publicados sobre este tema para suspensiones de laterita, de maghemita y de otros óxidos de hierro [1-8].

CONCLUSIONES

- La fase sólida del cieno carbonatado contiene un 89,32 % de carbonato de calcio y un 10,68 % de impurezas sólidas acompañantes. El carbonato de calcio, a su vez, está constituido por dos fases mineralógicas: calcita (52,80 % en peso) y aragonito (47,20 % en peso), que muestran una buena cristalinidad.
- El agua del proceso, con la que se preparan industrialmente las suspensiones de cieno carbonatado, posee un $pH = 7,8$ y un alto contenido de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} . Una parte de

estos cationes son incorporados a la superficie de las partículas de CaCO_3 , mediante los procesos respectivos de adsorción específica y de intercambio iónico.

- El análisis granulométrico por vía húmeda demuestra que la fase sólida de las muestras están compuestas, mayormente, por partículas finas (menores de $53 \mu\text{m}$), siendo ellas las causantes de las propiedades coloidales y de la plasticidad de las suspensiones. Este predominio de las partículas finas se debe al alto contenido de CaCO_3 en estas pulpas.

- Debido a las características coloidales de las suspensiones de cieno carbonatado, su superficie sólida se carga eléctricamente al entrar en contacto con el agua del proceso, siendo positiva la densidad de carga superficial, para valores de pH inferiores al p.z.c., y negativa para magnitudes de pH superiores a este.

- El p.z.c. de la suspensión cambia con el tipo de medio dispersante utilizado, lo cual está relacionado con la composición química del medio. En todas las muestras preparadas con agua destilada el p.z.c no cambia de valor, debido a que no hay adsorción específica de iones; sin embargo, en las suspensiones industriales y las preparadas con agua de proceso, el p.z.c. se desplaza hacia un pH más ácido como consecuencia de la adsorción específica de cationes de calcio presentes en estas aguas. Para las pulpas industriales se obtuvo que el p.z.c se encuentra en el intervalo de $\text{pH} = 7,4$ a 8 , a temperatura ambiente.

- Los datos experimentales de viscosidad vs pH, demuestran que las viscosidades máximas de las suspensiones estudiadas se encuentran en las proximidades de sus p.z.c, donde las pulpas exhiben la menor estabilidad de sus partículas suspendidas en el medio, formando flóculos y sedimentando con mayor facilidad debido al predominio de las fuerzas de atracción entre las partículas,. En cambio, a pH alejados de los p.z.c ocurre todo lo contrario, debido a que predominan las fuerzas repulsivas entre las partículas.

- Las pulpas industriales muestran plasticidad en su comportamiento reológico y los datos de sus curvas de flujo se ajustan bien al modelo reológico de Bulkley-Herschel,

$$\tau = \tau_0 + K. (Dr)^n.$$

- Las suspensiones preparadas en el laboratorio con agua destilada y de proceso, a 32 % en peso de sólidos, muestran un comportamiento reológico típico de los materiales que poseen plasticidad, aunque con valores relativamente bajos del esfuerzo cortante inicial, τ_0 . Las pulpas industriales exhiben mayores valores de sus parámetros reológicos y de sus viscosidades, comparándolas con las preparadas en el laboratorio. Ello se debe a que las pulpas industriales poseen mayor homogeneidad y partículas más pequeñas, lo que propicia una mayor estructuración de la suspensión, y, por consiguiente, mayores valores de los esfuerzos cortantes y de sus viscosidades.

BIBLIOGRAFIA

1. AVOTINS A. P., AHLSCHLAGER S. S., WICKER R. G.: "The rheology and handling of laterite slurries". *International Lateritic Symposium*. Traducción del Dpto. ICT, CIPIMM, Nº 19, pp. 610, Moa, 1979.
2. CARDERO Y., GARCELL L. R.: "Efecto del potencial iónico sobre la adsorción específica de cationes en suspensiones de laterita y de cieno carbonatado". *Revista Tecnología Química*, Vol. 30, Nº 3, pp 78-86, 2010.
3. CERPA A. *et al.*: "Rheological properties of concentrated lateritic suspensions". *Rheology. Progr. Colloid Polym. Sci.*, Vol. 100; pp. 266-270, 1996.
4. CERPA A. *et al.*: "Mineral – Content and particle Size effects on the colloidal properties of concentrated lateritic suspensions". *Clays and Clay Minerals*, Vol. 47, Nº 4, pp. 515-521, 1998.
5. CORNELL R. M. y SCHWERTMANN U.: "The Iron Oxides". *VCH*, New York, 1996.
6. GARCELL L. R. *et al.*: "Interfacial and Rheological Characteristics of Maghemite Aqueous Suspensions". *J. Colloid Interface Sci.*, 305, pp. 470-475, 1998.
7. PÉREZ L., CARDERO Y., GARCELL L., "Modelo matemático para describir la distribución granulométrica de la fase dispersa de las suspensiones de laterita ", *Revista Tecnología Química*, Vol. 29, No. 2, 2009.
8. PÉREZ L. *et al.* : "Caracterización física, química, mineralógica y reológica de suspensiones minerales del proceso de lixiviación ácida selectiva de Níquel y Cobalto en Moa, Holguín, Cuba". *Revista Minería y Geología*, Vol. 26, No. 4, pp. 16-35, 2010.
9. SOMASUNDARAN P. y AGAR G. E.: "The Zero Point of Charge of Calcite". *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 24, pp. 433-440, 1967.
10. ZACHARA J. M., COWAN CH. E., RESCH CH. T.: "Metal Cation/Anion Adsorption on Calcium Carbonate: Implications to Metal Ions Concentrations in Grandwater". *Environmental Sciences Department*, Pacific Northwest Laboratory, Richland WA 99352, pp. 37-47, 1993.

Recibido: Noviembre 2016
Aprobado: Marzo 2017

Dra. Liudmila Pérez-García. Universidad de Oriente. Facultad de Ingeniería Química y Agronomía Santiago de Cuba. lgarcell@uo.edu.cu