Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 859-868

PREPARACIÓN DE SUSPENSIONES ACUOSAS COLOIDALES DISPERSAS DE ARCILLAS MONTMORILLONÍTICAS

*Próspero Acevedo-Peña, Agni Y. Carreño-Contreras, José F. Macias-Chacón, Julio E. Pedraza-Rosas**

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 859-868

PREPARACIÓN DE SUSPENSIONES ACUOSAS COLOIDALES DISPERSAS DE ARCILLAS MONTMORILLONÍTICAS

*Próspero Acevedo-Peña, Agni Y. Carreño-Contreras, José F. Macias-Chacón, Julio E. Pedraza-Rosas**

Grupo de Investigaciones en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente– GIMBA, Universidad Industrial de Santander, Sede Guatiguará, Km. 2 vía El Refugio, Piedecuesta (Santander), Colombia

** E-mail: jpedrza@uis.edu.co, prosperoacevedopena@yahoo.com*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

En el presente trabajo se muestra un estudio realizado para obtener suspensiones estables de minerales arcillosos, que permitan su posterior procesamiento por vía húmeda. La caracterización mineralógica practicada a los minerales, mostró en general la presencia de especies tales como montmorillonita sódica, illita, caolinita, albita y cuarzo. El estudio del potencial zeta hizo posible determinar que, el pirofosfato de sodio es un dispersante adecuado para preparar suspensiones estables, de este tipo de menas, en un medio alcalino ajustado con NH_4OH. Mediante el estudio de la viscosidad desarrollado para las pulpas los minerales arcillosos, una de grado comercial y, otra tal y como sale de la mina, se encontró que el manejo de pulpas de las menas arcillosas con presencia de montmorillonita sódica como una de las principales fases cristalinas, está marcadamente influenciado tanto por la composición mineralógica de las mismas, como por la velocidad de agitación utilizada para la preparación de las dispersiones. Finalmente, el procedimiento empleado, permitió la determinación de las mejores condiciones para la preparación de suspensiones estables de los dos minerales arcillosos en estudio.

Palabras Claves: *Minerales arcillosos, Montmorillonitas, Potencial zeta, Viscosidad, Silicato de sodio, Pirofosfato de sodio, pulpas minerales.*

Abstract

In the present work is shown a study done to obtain stable suspensions of clay minerals, who allows its posterior process by wet methods. The mineralogical characterizations made to the minerals, shows the presence of species like sodic montmorillonite, illite, kaolinite, albite and quartz. The studies of zeta potential did possible determine that, the sodium pyrophosphate is a proper dispersant to prepare stable suspensions of these kinds of ores, in alkaline medias adjusted with NH4OH. Employing studies of the viscosity developed by the clay minerals pulp, one of a commercial grade, and other run of mine, it was found than the handle of clay mineral pulps, in presence of sodium montmorillonite as one of the principals crystalline phases, is markedly determined by the mineralogical composition, as well as the rate of agitation employed to prepare the suspensions. Finally, the procedure employed, allows the determination of the best conditions to obtain stable suspension of each clay mineral studied.

Keywords: Clay minerals, Montmorillonites, zeta potential, viscosity, sodium silicate, sodium pyrophosphate, minerals pulps.

1. INTRODUCCIÒN

Las suspensiones de arcillas montmorilloniticas presentan características reológicas únicas, principalmente debido a la estructura compleja de la doble capa eléctrica que rodea a las partículas, cuando ellas están en contacto con soluciones acuosas. Dichas características, son útiles para una amplia variedad de aplicaciones tecnológicas, tales como lodos de perforación, pinturas, cosméticos, acondicionadores de suelo, etc [1].

En este tipo de arcillas, la mayoría de su superficie interfacial sólido-líquido está asociada con las caras planares de las partículas, las cuales presentan una carga superficial negativa, debido a las sustituciones

iónicas (principalmente Mg^{2+} por Al^{3+} y, Al^{3+} por Si^{4+}) en la red cristalina. Tal carga es por consiguiente, esencialmente independiente de la composición iónica del medio (carga permanente), contrario a la pequeña fracción de la superficie de los bordes de las láminas de arcilla, los cuales presentan una fuerte dependencia del pH (carga variable). Esta heterogeneidad en la distribución de carga superficial, es la principal responsable de la floculación en las suspensiones de montmorillonita sódica, y de la estructura de los agregados coloidales. Es por ello, que a valores de pH ácidos, cuando las cargas de las caras y bordes tienen signos opuestos, la formación de agregados card-house (estructuras tipo "T" o castillo de naipes) son posibles, a través de la heterocoagulación de la cara de una partícula con los bordes de sus vecinos [2]. En contraste, bajo condiciones básicas (cuando todas las superficies están cargadas negativamente), las repulsiones entre partículas son predominantes.

En el caso específico del procesamiento de minerales, es de gran importancia el conocimiento del comportamiento coloidal de las partículas, ya que éste define en gran parte las características reológicas de la pulpa, y por consiguiente, su desempeño en cada uno de los procesos de beneficio; debido a que para la aplicación de los mismos se requieren pulpas altamente concentradas, de fluidez y estabilidad controladas. Por tal razón, los estudios de dispersión son necesarios, ya que estos brindan información acerca de las fuerzas entre partículas, para de esta forma, encontrar las mejores condiciones que lleven a producir suspensiones estables.

Es así como debido a su tamaño microscópico, las fuerzas de unión en la superficie del coloide y el líquido son las que determinan su comportamiento; cada coloide contiene una carga eléctrica que suele ser de naturaleza negativa, por lo que se producen fuerzas de repulsión electrostática entre los mismos, las cuales dependiendo de su magnitud generan diferentes características sobre los coloides. En consecuencia, se ha encontrado que cuando la carga es lo suficientemente elevada, los coloides permanecen discretos, dispersos, y en suspensión; mientras que cuando se reducen o eliminan estas cargas, se obtiene el efecto opuesto y, los coloides se aglomeran y sedimentan.

El empleo de dispersantes que incremente la carga negativa de las partículas, y garantice una distribución homogénea de la misma, ha sido ampliamente difundido [3-5], lográndose obtener suspensiones de minerales arcillosos, estables y concentradas.

De este modo, se ha encontrado que una interesante aplicación de los estudios de potencial zeta, ha sido la minimización de la viscosidad de las dispersiones de arcilla [2-5], ya que como se ha mencionado previamente, en la mayoría de las aplicaciones industriales, dichas dispersiones deben presentar una fluidez y estabilidad controladas; características que pueden ser alcanzadas incrementando el pH de la suspensión, a través de la adición de una sustancia alcalina (agente dispersante), por medio de la cual la superficie de las partículas adquiere una carga negativa, causando un incremento en la repulsión electrostática de las mismas, y por consiguiente, previniendo la adhesión y aglomeración de dichas partículas, con lo cual se obtiene un sistema disperso de baja viscosidad.

Según Lagaly [6], en el caso específico de dispersantes aniónicos, estos actúan de diferentes formas, como es ilustrado en la Figura 1. En el caso de la Figura 1 (a), los bordes de las caras planares, puede cambiar el signo de su carga por adsorción de aniones. Esto también puede ocurrir en sitios donde los iones no han sido intercambiados. Incluso si la densidad de carga en los bordes es ligeramente negativa, un intercambio de aniones (*i.e.* OH^-), con aniones multivaletes, provenientes del dispersante, puede incrementar la densidad de carga negativa.

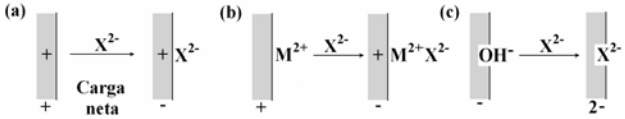


Figura 1. Esquematización de las posibles formas de incremento en la densidad de carga negativa de minerales arcillosos, por la acción de agentes dispersantes aniónicos.

Lo anteriormente expuesto, ha determinado el rumbo del presente trabajo, donde se busca evaluar las mejores condiciones, para la preparación de suspensiones estables de minerales arcillosos colombianos, empleando mediciones del potencial zeta de los sólidos en suspensiones diluidas (determinación de curvas ζ *vs.* pH), y mediciones de viscosidad de las suspensiones concentradas.

2. EXPERIMENTAL

2.1 Obtención de las muestras.

El mineral denominado M1, es una muestra comercial, proveniente del departamento del Valle del Cauca (Colombia). La muestra M2 es tal y como sale de la mina, procedente del departamento de Tolima (Colombia).

2.2 Caracterización mineralógica.

En el caso de la determinación de las especies mineralógicas presentes en cada una de las muestras, se empleó la técnica de Difracción de Rayos X, empleando un difractómetro de polvo marca RIGAKU modelo D/MAX IIIB, con una lámpara de CuKα1, a un voltaje de 30 kV, con una corriente de 15 mA. El muestreo se realizó cada 0.02° 2θ, en un intervalo entre 2-70° 2θ. El análisis cuantitativo de las fases encontradas, se efectuó mediante el refinamiento por el Método de Rietveld del perfil observado, habiéndole agregado a la muestra una cantidad conocida de un estándar interno (Aluminum oxide, -100mesh, 99 %; Corundum, α-phase. Aldrich Nº 23, 474-5) correspondiente al 20%.

2.3 Selección del dispersante y su dosificación.

Debido a que la determinación del exceso de carga superficial, es un indicador de las fuerzas de interacción entre las partículas de arcilla, se emplearon las mediciones de potencial zeta (ζ), para determinar las condiciones más apropiadas, el tipo y la dosificación de agente dispersante, y pH; para asegurar una buena dispersión en agua de los sólidos que conforman las menas. Sólo al asegurarse que los sólidos, forman sistemas dispersos estables, se puede esperar que los procesos de separación y concentración de arcillas sean efectivos. Es por ellos que como variable respuesta o indicativa del grado de dispersión de estos sistemas arcilla-agua, se escogió el ζ, parámetro que al aumentar su valor absoluto, se aumenta el grado de dispersión de las pulpas arcillosas.

La medición del ζ fue llevada a cabo en suspensiones diluidas (ver abajo) de las arcillas, y empleando como agentes modificadores de pH HNO_3-NH_4OH. Las lecturas de este potencial se realizaron en el equipo Zetameter System 3.0+, cuyo funcionamiento se ilustra en la Figura 2.

Se trabajó con dos agentes dispersantes diferentes tradicionales [5]: Silicato de Sodio (Na_2SiO_4) y Pirofosfato de Sodio ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$), cuya estructura se encuentra ilustrada en la Figura 3. El rango de dosificación empleado fue de 0.5-1.5% (v/p y p/p, respectivamente), y efectuando el barrido del ζ exclusivamente en el rango de pH comprendido entre 6 y 12. El rango de pH trabajado, se seleccionó teniendo en cuenta que debido a la heterogeneidad en la distribución de carga superficial de las partículas de arcilla, ya que bajo condiciones básicas, tanto los bordes como las caras de las láminas de arcilla se encuentran cargadas negativamente [7].

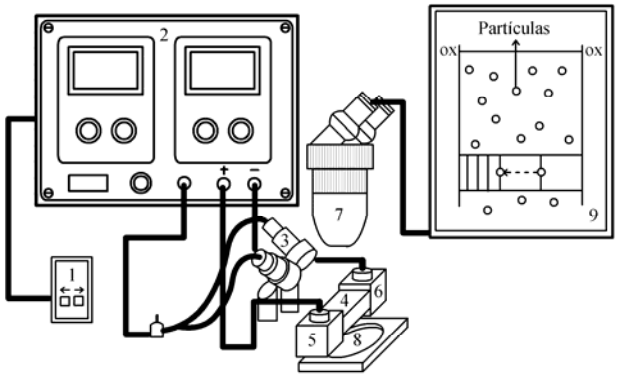


Figura 2. Montaje empleado para la medición del potencial zeta de los materiales arcillosos.

Para la lectura del Potencial Zeta, se hizo necesaria la preparación de suspensiones diluidas de arcilla (M1 y M2), las cuales fueron obtenidas en la forma que se describe a continuación. Inicialmente, se prepararon pulpas al 10% de sólidos (p/p) por medio de la adición de la respectiva dosificación de dispersante a evaluar, y mediante la agitación de las mismas a una velocidad de 1250rpm, durante 15min; se extrajo una alícuota que fue posteriormente aforada en un balón de 250ml, permitiendo así la obtención de una suspensión diluida de arcilla.

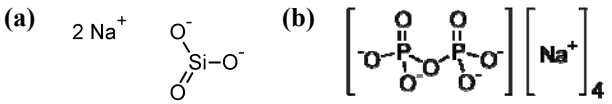


Figura 3. Estructura de los dispersantes empleado para la preparación de suspensiones de los minerales arcillosos: (a) Silicato de sodio y (b) Pirofosfato de sodio.

2.4 Determinación de las condiciones para preparar las suspensiones de arcilla.

La evaluación de la viscosidad de las pulpas de las dos menas de arcillas, se efectuó con el fin de determinar el porcentaje de sólidos más apropiado para su manejo, y desarrollo en los diferentes procesos de beneficio, teniendo en cuenta que las pulpas de arcilla con relativamente bajos porcentajes de sólidos, sin previo tratamiento de dispersión, se caracterizan por presentar valores de viscosidad muy altos que dificultan su manejo. Por tal razón, esta evaluación fue llevada a cabo con base en las mejores condiciones encontradas en el estudio de dispersión y, teniendo en cuenta la influencia de: primer lugar, dos tipos de agitadores, el uno un Mecánico Convencional, Modelo IKA-Labortechnik y el otro un Ultra-agitador, Modelo DI 148 (Figura 15); y en segundo lugar, diferentes velocidades de agitación, durante un tiempo constante de 15 min.

La evaluación de la viscosidad de pulpas de las dos muestras seleccionadas, se realizó con el Reómetro Digital Brookfield, Modelo DV-III+.

Para el desarrollo de estas pruebas fue necesaria la preparación de las pulpas de los minerales arcillosos (M1 y M2). Esta evaluación fue desarrollada a un contenido de sólidos en el intervalo de 7-5% p/p, según lo permitiera la muestra. En estado natural, o bajo las mejores condiciones de dispersión, (pH, tipo de dispersante y dosificación), encontradas con el estudio anterior. Tales pulpas, fueron sometidas a la velocidad de agitación respectiva durante un tiempo de 15min, después del cual, se tomó una alícuota que fue introducida en el portamuestras del Reómetro Digital Brookfield, Modelo DV-III+.

Es necesario aclarar que el equipo de ultra-agitación fue empleado solo en el caso del mineral M1, debido a la dificultad presentada para trabajar a altos contenidos de sólidos.

3. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

3.1 Caracterización mineralógica

Los difractogramas correspondientes a cada una de las menas recolectadas, se encuentran registrados en la Figura 3. De igual forma, los resultados de los análisis por difracción de rayos-X, para cada una de las menas recolectadas, se encuentran registrados en la Tabla 1.

La Tabla 1 muestra la presencia de minerales arcillosos pertenecientes a los grupos de las micas (Illita, I), de las esmectitas (Montmorillonita Sódica, M) y de la Caolinita (K), los cuales se encuentran en proporciones relativamente altas en todas ellas, alcanzando contenidos totales [I + (M-Na) + K] del 72.12, 63.4 y 71.43%, para los minerales M1 y M2, respectivamente. Por otra parte, con respecto a las impurezas, se observa en las cuatro muestras la presencia de cuarzo (C), en especial la muestra M2, que presenta una cantidad considerable de esta impureza (27.97%). En el caso del mineral M1, aunque contiene una cantidad relativamente baja de cuarzo (9.03%), presenta la especie feldespática Albita en una cantidad considerable (10.35%).

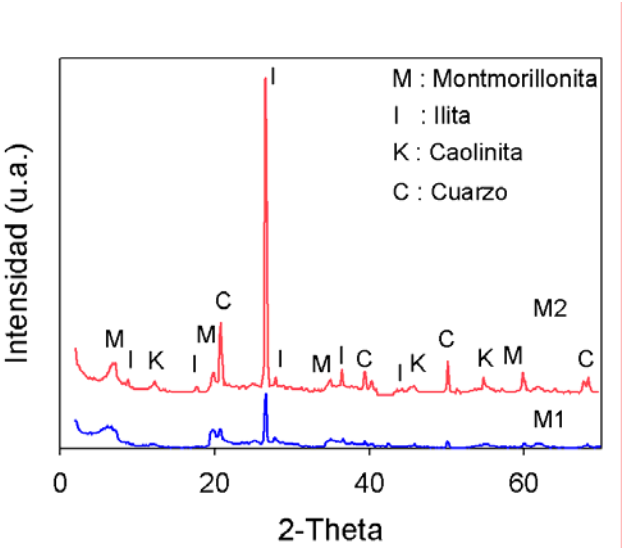


Figura 3. Difractogramas obtenidos para las dos muestra de minerales arcillosos.

3.2 Mediciones de potencial zeta (ζ)

3.2.1 Arcillas naturales

Los resultados de la evaluación del Potencial Zeta (ζ) para las arcillas estudiadas, en estado natural (sin ningún tratamiento), se encuentran ilustrados en la Figura 4. Las curvas presentadas no muestran la presencia de un punto isoeléctrico, en el intervalo de valores de pH estudiados. Aunque el mineral M2 presento un mayor ζ, para ambos casos el valor de ζ mostró ser dependiente del pH,

Tabla 1. Composición mineralógica de los minerales arcillosos.

Mineral	*Fases mineralógicas*					
	% Montmorillonita Sódica	*% Ilita*	*% Caolinita*	*% Albita*	*% Cuarzo*	*Amorfos*
M1	20.08	12.29	9.75	10.35	9.03	1.25
M2	14.96	36.11	12.33	----	27.97	8.63

disminuyendo conforme este último incrementaba. La variación en el valor de ζ con el pH, es atribuida a la desprotonación de los bordes de las láminas de los minerales arcillosos [2-7], como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\equiv Al - OH_2^+ \rightarrow \equiv Al - OH + H^+$$
$$\equiv Al - OH + OH \rightarrow \equiv Al - O^- \quad (1)$$
$$\equiv Si - OH + OH \rightarrow \equiv Si - O^-$$

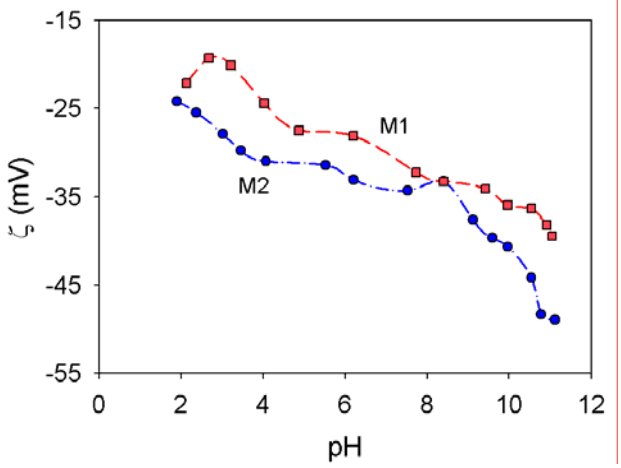


Figura 4. Potencial zeta de suspensiones de las arcillas M1 y M2, en estado natural.

3.2.2 Silicato de sodio como dispersante

Para incrementar el exceso de carga superficial (magnitud de ζ) se empleó como dispersante silicato de sodio (SiO_3Na_2), cuya forma disociada en agua se encuentra representada en la Figura 2 (a). El dispersante se carga negativamente por la formación de iones SiO_3^{2-} en solución, que son adsorbidos por el mineral. Las curvas de ζ *vs*. pH, obtenidas con el mineral M1, empleando 3 diferentes dosificaciones de silicato de sodio (0.5, 1.0 y 1.5 % v/p), se muestran en la Figura 5.

De acuerdo con la Figura 5, se puede apreciar que independientemente de la dosificación de Silicato de Sodio empleada, el Potencial Zeta presenta un comportamiento generalizado, en el que a medida que se incrementa el pH del medio, ocurre un aumento en la magnitud de dicho potencial, hasta llegar a un máximo -$\zeta_{Máx}$- (alrededor de pH 10.0), después del cual este parámetro empieza a disminuir. Sin embargo, sólo con una dosificación de 0.5 % v/p, este valor es más negativo, al máximo encontrado para la misma arcilla a un pH un poco mayor. Lo que indica que no sería adecuado el uso de este dispersante para preparar suspensiones estables de la arcilla M1.

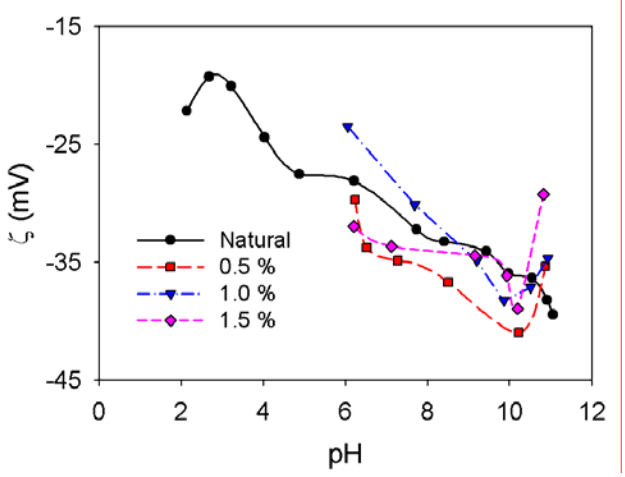


Figura 5. Potencial zeta de suspensiones de la arcilla M1, a diferentes concentraciones (% v/p) de silicato de sodio.

El mismo procedimiento fue empleado para el mineral arcilloso M2. Como se muestra en la Figura 6, el comportamiento es similar al presentado por la arcilla M1, pero el máximo encontrado es mucho más pronunciado. Por otra parte, lo valores de $\zeta_{Máx}$ alcanzados no son mayores a los logrados para las arcillas naturales, mostrando que este dispersante tampoco es adecuado para el mineral M2.

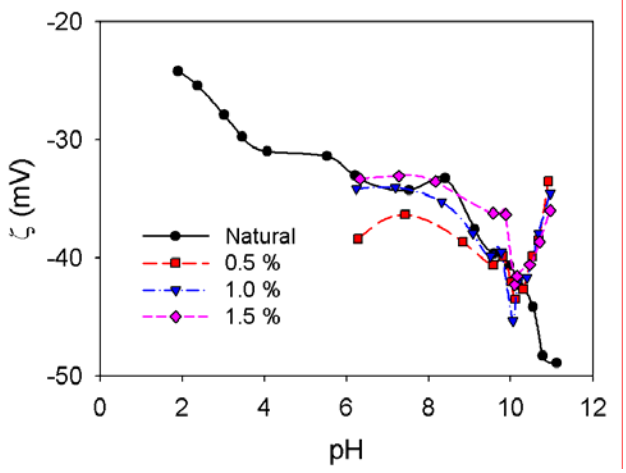


Figura 6. Potencial zeta de suspensiones de la arcilla M2, a diferentes concentraciones (% v/p) de silicato de sodio.

Al agregar Silicato de Sodio en proporciones (0.5-1.5 % v/p) a las suspensiones de los minerales arcillosos, el silicato se adsorbe sobre su superficie, mediante diferente formas (Como se ilustra en la Figura 1), llevando a un incremento en el exceso de carga superficial en las partículas de los minerales, incrementando así, las fuerzas de repulsión entre ellos, y por lo tanto, mejorando la estabilidad de las supensiones acuosas (Ver Figuras 5 y 6). Sin embargo, hay dos fenómenos interesantes que se presentan en ambas Figuras, los cuales son: *i)* El incremento en la cantidad de dispersante en la suspensión, no lleva a un incremento del exceso de carga superficial en los minerales arcillos, y *ii)* Al incrementar el pH, se incrementa la carga de las partículas, pero hay un valor de pH, después del cual, el valor de ζ disminuye.

Esto puede explicarse si tenemos en cuenta que en ambos casos, estamos incrementando los iones en la solución, haciendo que la doble capa eléctrica de las partículas se contraiga, y provocando que la caída de potencial a través de la solución sea muy pronunciada. Todo esto lleva a que el potencial en la capa externa de Helmholtz, ζ, disminuya en magnitud [8].

3.2.3 Pirofosfato de sodio como dispersante

Para incrementar el exceso de carga superficial (magnitud de ζ) se empleó como dispersante pirofosfato de sodio ($P_2O_7Na_4$), cuya forma disociada en agua se encuentra representada en la Figura 2 (b). El dispersante se carga negativamente por la formación de iones $P_2O_7^{4-}$ en solución, a diferencia del silicato de sodio, los iones $P_2O_7^{4-}$, causante del incremento en la carga superficial, presenta una valencia de 4-, el doble que para el caso del SO_3^{2-}, 2-. Las curvas de ζ *vs*. pH, obtenidas con el mineral M1, empleando 3 diferentes dosificaciones de pirofosfato de sodio (0.5, 1.0 y 1.5 % p/p), se muestran en la Figura 7.

Nuevamente, la adición de dispersante lleva a un incremento en la densidad de carga superficial, mejorando la estabilidad del sistema. Cabe resaltar que, también se mostró la presencia de un $\zeta_{Máx}$, tanto con la dosificación de dispersante, como con el pH de la suspension. Pero a diferencia del silicato de sodio, si se alcanzan valores de $\zeta_{Máx}$ mayores, a los alcanzados con la arcilla natural; mostrando que este dispersante es adecuado para la preparación de suspensiones estables del mineral M1.

Para el caso del mineral M2, el pirofosfato de sodio también mostró ser un dispersante adecuado para preparación de suspensiones estables, ya que se alcanzan valores de ζ mayores que para la arcilla natural, y a más bajos valores de pH. Sin embargo, el efecto de la dosificación del dispersante no tiene un influencia tan marcada, como en el caso de la arcilla M2, mostrando que hasta dosificaciones de 1 % p/p, se obtiene prácticamente el mismo valor de $\zeta_{Máx}$.

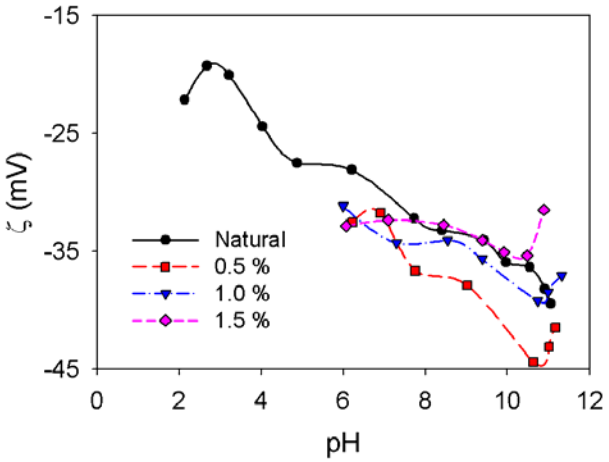


Figura 7. Potencial zeta de suspensiones de la arcilla M1, a diferentes concentraciones (% p/p) de pirofosfato de sodio.

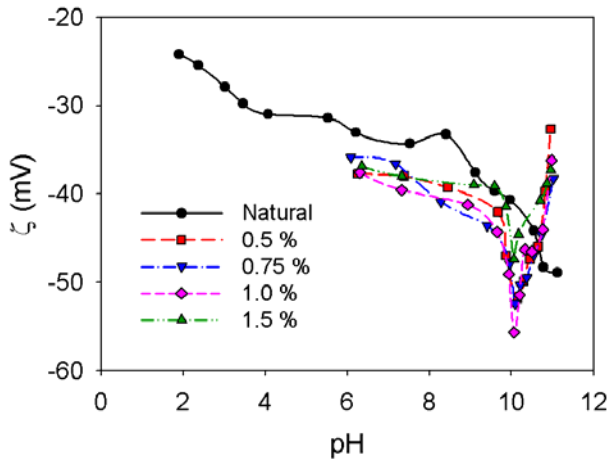


Figura 8. Potencial zeta de suspensiones de la arcilla M2, a diferentes concentraciones (% p/p) de pirofosfato de sodio.

En la Tabla 2 dos se resumen los resultados encontrados en las curvas de ζ *vs*. pH. En esta se muestra el ζ_{MAX} encontrado en ausencia y presencia de dispersantes, y el valor de pH al cual se presenta el ζ_{MAX}. De acuerdo con los resultados presentados en la tabla y las figuras anteriores, se puede observar en las mismas un comportamiento generalizado del ζ_{MAX}, muy similar a aquel presentado por el mineral M1. Sin embargo, en este caso se nota que un incremento en la concentración del agente dispersante, implica también, un aumento en la magnitud del ζ_{MAX}, hasta una cierta dosificación crítica; después de la cual, dicho potencial decrece nuevamente. Es así como teniendo en cuenta los datos de ζ_{MAX} presentados en la Tabla 2, se encuentra que para el caso particular del Silicato de Sodio, este tipo de dispersante no es adecuado para la dispersión del mineral M2, ya que las lecturas de potencial tomadas son inferiores a aquella encontrada para la arcilla natural a un pH de 11.13.

Tabla 2. Influencia de la dosificación de dispersantes sobre el potencial zeta de los sistema arcilla-agua.

	Dispersante	*%*	*pH*	$\zeta_{máx}$ *(mV)*
M1	Natural	0.0	11.3	-39.5
	Silicato de Sodio (% v/p)	0.5	10.2	-40.9
		1.0	9.9	-38.3
		1.5	10.2	-39.0
	Pirofosfato de Sodio (% p/p)	0.5	10.7	-44.4
		1.0	10.8	-39.0
		1.5	10.6	-35.4
M2	Natural	0.0	11.1	-49.1
	Silicato de Sodio (% v/p)	0.5	10.2	-43.6
		1.0	10.1	-45.4
		1.5	10.1	-42.0
	Pirofosfato de Sodio (% p/p)	0.5	10.2	-53.4
		1.0	10.1	-53.7
		0.75	10.1	-55.7
		1.5	10.1	-47.3

Por otra parte, con base en el comportamiento del Potencial Zeta descrito con anterioridad, se aprecia que para el caso del Pirofosfato, la concentración crítica de dispersante es del 1% p/p; sin embargo, teniendo en cuenta que la diferencia entre los datos de ζ_{MAX} correspondientes a las dosificaciones de 0.5 y 1% p/p es mínima, y considerando que todos los valores se encuentran dentro del mismo rango de estabilidad -"muy buena estabilidad"- [9], se puede concluir que la concentración de pirofosfato más adecuada para llevar a cabo la dispersión del mineral M2 es 0.5% p/p (pH 10.18).

3.3 Mediciones de viscosidad

3.3.1 Arcillas naturales

En la Figura 9 se muestra los resultados de viscosidad para la arcilla M1, a: 7, 10 y 15 % de sólidos, ya que para porcentaje de pulpa mayores fue imposible hacer mediciones pues la pulpa tomó una apariencia muy pastosa. Como se muestra en la Figura 9, la viscosidad aumenta gradualmente a medida que se aumenta el porcentaje de sólidos hasta un 10%, sin embargo para porcentajes mayores a éste la viscosidad aumenta de una manera drástica, alcanzándose valores de 4117cp para pulpas con 15% de sólidos.

Para el caso de la muestra M2, aunque se obtuvo una viscosidad menor con las pulpas, sólo se pudo trabajar con porcentajes de sólidos de 30 %, ya que la pulpa mostró un incremento considerable de la viscosidad a esta concentración, ver Figura 9.

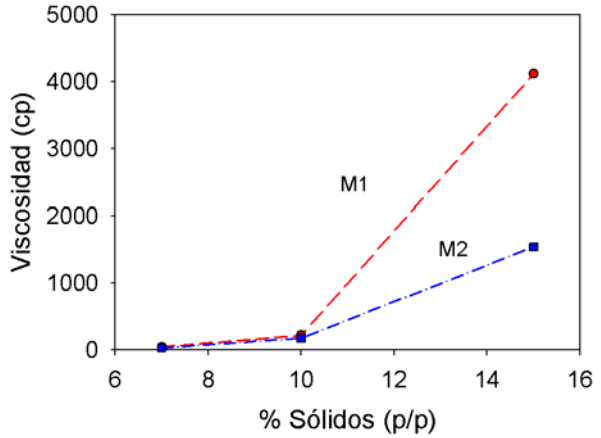


Figura 9. Viscosidad de las suspensiones de las arcillas M1 y M2, en estado natural.

3.3.2 Mineral M1

Los resultados de la evaluación de la viscosidad de pulpa, en función del contenido de sólidos, y bajo las mejores condiciones de dispersión (0.5% p/p Pirofosfato de Sodio, pH 10.7 y 15min de agitación), se encuentran consignados en las Figuras 10 (a y b), para el caso de agitación mecánica y ultra-agitación, respectivamente. Cabe señalar, que en la Figura 10 (a) se encuentra graficada el comportamiento de la arcilla natural, sólo con fines comparativos. Con el mismo fin, en la Figura 10 (b), con líneas grises se presentan los resultados obtenidos con agitación mecánica.

Comparando cada una de las curvas de viscosidad presentadas en la Figura 10, se puede apreciar que todos los sistemas presentan un comportamiento en el que a medida que el porcentaje de sólidos de la pulpa es incrementado, ocurre de igual forma un aumento progresivo en la viscosidad del medio, el cual empieza a agudizarse a partir de un contenido de sólidos del 15% (en peso), poniendo en manifiesto, el limitado rango de concentración en el que pueden ser trabajadas estas suspensiones minerales naturales. Lo anterior, puede ser atribuido tanto al alto contenido de montmorillonita sódica (20.08%), como al bajo porcentaje de cuarzo (9.03%), presentes en la mena,;ratificando de esta manera el planteamiento hecho por Parfitt [10] en cuanto a que la viscosidad de las suspensiones de arcilla es fuertemente dependiente de la composición mineralógica de las mismas.

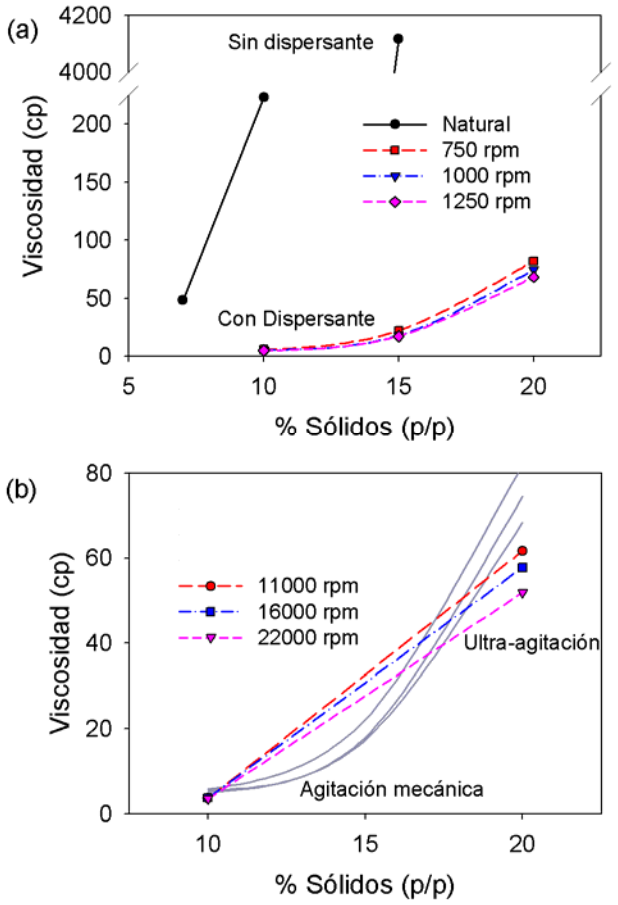


Figura 10. Efecto de la agitación sobre viscosidad de las suspensiones del mineral arcilloso M1: (a) Agitación mecánica y (b) Ultra-agitación (la alineas grises indican los resultados obtenidos con agitación mecánica).

En el caso de los ensayos de ultra-agitación (Figura 10 (b)) se puede decir que se observa una disminución significativa de los valores de viscosidad de pulpas, pero que aún se sigue presentando un limitado porcentaje de sólidos (10%), para que las pulpas con esta clase de arcillas tengan una buena fluidez; confirmando así la marcada influencia de las especies mineralógicas, especialmente la montmorillonita sódica, sobre el comportamiento al flujo del sistema.

Por consiguiente, teniendo en cuenta que la suspensión debe contar con unas características de flujo aceptables para el procesamiento, y considerando que a pesar de que las tres curvas ensayadas prácticamente se superponen en el rango de concentración inicial (hasta 15% de sólidos), se encuentran las condiciones más favorables para el acondicionamiento de suspensiones de, mineral M1, para los procesos de beneficio, son: *i)* un contenido

de sólidos del 10% p/p, y *ii)* una velocidad de agitación de 1250 rpm. A pesar de que a 750 rpm se obtuvo un comportamiento similar según los resultados presentados, es recomendable trabajar con 1250 rpm, para que la suspensión se agite homogéneamente, y no presente tendencia a adherirse a las paredes del recipiente usado.

3.3.3 Mineral M2

Los resultados de las pruebas de viscosidad realizadas, bajo las mejores condiciones de dispersión (0.5% Pirofosfato de Sodio, pH 10.18 y 15min de agitación), se encuentran consignados e ilustrados en la Figura 11.

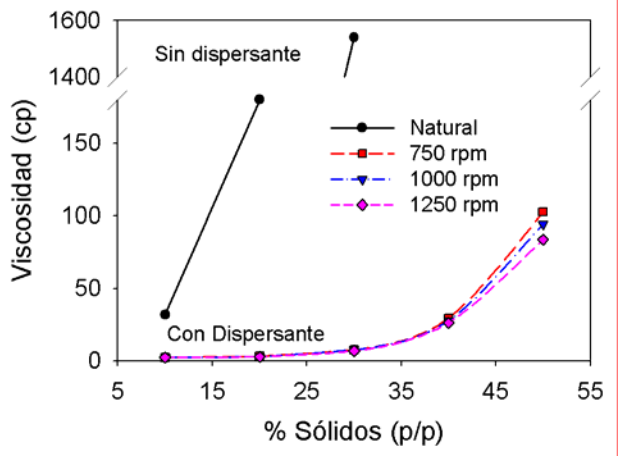


Figura 11. Efecto de la agitación mecánica sobre viscosidad de las suspensiones del mineral arcilloso M2.

Teniendo en cuenta las curvas ilustradas obtenidas con este mineral, se encuentra que estas presentan un comportamiento similar a aquel característico del mineral M1, bajo el mismo tipo de agitación. No obstante, en este caso se observa que la viscosidad se agudiza a un contenido de sólidos del 40%, contenido límite hasta el cual se aprecia una superposición de las curvas; por lo tanto, para éste mineral se establece un rango más amplio de trabajo, el cual se extiende hasta una concentración del 30% (en peso); situación que puede ser acusada, tanto por el alto contenido de cuarzo (27.97%), como por la menor proporción de montmorillonita sódica (14.96%) presente en el mineral.

De acuerdo con lo anterior, se pudo establecer que en el caso del mineral M2, las condiciones más convenientes para el acondicionamiento y manejo de la pulpa, son: *i)* un porcentaje de sólidos del 30% (en peso) y, *ii)* una velocidad de agitación de 1250rpm. La velocidad se ajustó al mismo valor que para la muestra M1, para que la suspensión se agite homogéneamente, y no presente tendencia a adherirse a las paredes del recipiente usado.

4. CONCLUSIONES

La caracterización mineralógica practicada a los minerales provenientes de los departamentos del Tolima y Valle del Cauca, mostró en general la presencia de especies mineralógicas tales como montmorillonita sódica, illita, caolinita, albita y cuarzo.

El estudio del potencial zeta hizo posible determinar que para la dispersión de menas arcillosas con presencia de montmorillonita, como una de las principales fases cristalinas, fue más efectivo el pirofosfato de sodio en un medio alcalino ajustado con NH_4OH. De este modo, se encontró que a un pH de 10.70 y 10.18, para los minerales arcillosos, M1 y M2, respectivamente; una dosificación de 0.5%p/p proporcionó en ambos casos la mejor acción dispersante al sistema arcilla-agua.

Mediante el estudio de viscosidad desarrollado para los minerales M1 y M2, se encontró que el manejo de pulpas de menas arcillosas, con presencia de montmorillonita sódica como una de las principales fases cristalinas, estuvo marcadamente influenciado tanto por la composición mineralógica de las mismas, como por la velocidad de agitación utilizada para la preparación de las dispersiones.

El procedimiento empleando en el presente trabajo, caracterización mineralógica, medición de potencial zeta, y evaluación de la viscosidad de la suspensiones; permitió la determinación de las mejores condiciones para la preparación de suspensiones de dos minerales arcillosos que pueden ser beneficiados mediante vía húmeda. Además, de una mejor comprensión de la influencia de la composición mineralógica sobre las propiedades de minerales arcillosos.

5. REFERENCIAS

[1.] M.S. Hassa, N.A. Abdel-Khalek, *Clay Miner. Sci.*, 1998; **3**: 99-115.

[2.] M.M. Ramos-Tejada, F.J. Arroyo, R. Perea, J.D.G. Durán, *J. Colloid Interface Sci.*, 2001; **98**: 251-259.

[3.] J. Addai-Mensah, *Powder Tech.*, 2007; **179**: 73-78.

[4.] E. Günister, N. Öztekin, F. Bedia-Erim, Ö. Isik-Ece, N. Güngör, *J. Colloid Interface Sci.*, 2006; **303**: 137-141.

[5.] J. Yuan, W.L. Garfoth, R.J. Pruett, *Appl. Clay Sci.*, 1998; **13**: 137-147.

[6.] G. Lagaly, *Appl. Cly Sci.*, 1989; **4**: 105-123.

[7.] E. Tombáz, M. Szekeres, *Appl. Clay Sci.*, 2006 ; 34 : 105-124.

[8.] M. Kosmulski, P. Dahlsten, *Colloids Surf. A.*, 2006 ; **291**:212-218.

[9.] A. Carreño-Contreras, J.F. Macias-Chacón, *Propuesta de un sistema de beneficio para una arcilla montmorillonítica nacional*, tesis pregrado. Bucaramanga (Colombia): Universidad Industrial de Santander; 2007.

[10.] R. L. Parfit, *Appl. Clay Sci.*, 1990; **11**: 193-201.