

Efecto de la calidad del agua del proceso de beneficio en la reología de las suspensiones de caolín cerámico

SANITARY ENGINEERING

Effect of the water quality of the benefit process in the rheology of the ceramic kaolin suspensions

Anngie K. Molina-Macías^{1§}, Gustavo A. Peñuela¹

¹Grupo de Investigación GDCON, Facultad de Ingeniería, Sede de Investigación Universitaria (SIU),
Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

[§]anngiemolinam@gmail.com, gustavo.penuela@udea.edu.co

(Recibido: 25 de Septiembre 2018 - Aceptado: 29 de Noviembre 2018)

Resumen

En la obtención del caolín por vía húmeda, se evaluó la influencia de la calidad del agua en las propiedades reológicas de las suspensiones de caolín cerámico, para lo cual se llevaron a cabo ensayos de beneficio de caolín, usando la misma materia prima y agua de diferentes fuentes y calidad. Las propiedades reológicas de las suspensiones de caolín fueron medidas en términos de la demanda de electrolitos -DE-, el espesamiento (tixotropía), el Índice de Azul de Metileno -IAM- y la velocidad de deformación. Los parámetros de calidad del agua evaluados fueron pH, conductividad, acidez, alcalinidad, dureza total y cloro libre. Se encontró que cuando aumenta la alcalinidad, la acidez y la conductividad del agua usada en la obtención del caolín incrementa la DE de las suspensiones, sin embargo, a pesar de observar un comportamiento diferente entre materiales obtenidos a partir del lavado con agua con poco contenido de iones y materiales obtenidos a partir de lavado con agua con más contenido de iones, no se encontró una relación específica para el espesamiento.

Palabras clave: Calidad del agua, caolín, demanda de electrolitos -DE-, espesamiento, reología.

Abstract

In the obtaining process of the kaolin by wet way, the influence that the quality of the water in the rheological properties of the suspensions of ceramic kaolin was evaluated, for which benefit tests of kaolin were carried out, using the same raw material and water of different sources and quality. The rheological properties of the kaolin suspensions were measured in terms of electrolyte demand -DE-, thickening, the Methylene Blue Index -IAM- and the rate of deformation. The parameters of water quality evaluated were pH, conductivity, acidity, alkalinity, total hardness and free chlorine. It was found that when alkalinity, the acidity and conductivity of the water used to obtain kaolin increases, also does the DE of the suspensions, however, despite observing a different behavior between materials obtained from washing with water with few ions content and materials obtained from washing with water with some more ions content, no specific relationship was found for thickening.

Key words: electrolyte uptake, kaolin, rheology, thickening, water quality.

1. Introducción

El caolín es un mineral del grupo de las arcillas cuya composición química es sílice, alúmina y agua, $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, es ampliamente usado la fabricación de productos como la porcelana sanitaria, porcelana dieléctrica y pintura, entre otros. Su obtención comienza con la extracción desde las minas para luego realizar una separación física de las partículas de caolinita la cual se puede realizar por vía seca o por vía húmeda⁽¹⁾. Cuando el proceso de separación se realiza en húmedo, las partículas de caolinita tienen contacto directo con el agua, con la que se pueden llevar a cabo procesos como el intercambio de iones y cargas⁽²⁻⁶⁾, los cuales pueden modificar las propiedades reológicas de las suspensiones de caolín en la preparación de porcelana, como la viscosidad. El proceso de sinterización, o cocción durante la preparación de la porcelana depende de las propiedades reológicas del caolín. Si bien se ha estudiado mucho sobre el efecto que puede tener el agua que se usa como medio de dispersión sobre las propiedades reológicas de las suspensiones de caolín^(2,4-11) poco se ha estudiado cómo el agua que se usa en la obtención de este mineral puede afectar el comportamiento reológico de las suspensiones para el uso en la industria cerámica, sin embargo, el efecto puede ser muy similar. Conocer el efecto que tiene el agua usada en el proceso de beneficio de caolín por la vía húmeda puede ser muy útil para predecir el comportamiento de las suspensiones cerámicas en la preparación de porcelana.

El pH del medio dispersante afecta la viscosidad de las suspensiones de caolín, debido a que la presencia de OH⁻ o H⁺ puede afectar las cargas superficiales de las partículas de caolinita, si el pH es muy alto o muy bajo las partículas puede separarse debido a fuerzas repulsivas⁽²⁾, lo que ocasiona que la viscosidad de las suspensiones disminuya y se disperse más fácilmente^(4,5). Debido a las altas viscosidades que pueden alcanzar las suspensiones de caolín, se usan agentes dispersantes para disminuir la viscosidad y lograr el comportamiento reológico deseado⁽⁷⁻⁹⁾, para esto el dispersante inorgánico más ampliamente usado es el silicato de sodio. El efecto que los dispersantes tienen sobre la viscosidad de las suspensiones se debe a la reorganización

de las partículas de caolín que se dan por cambios electroquímicos⁽⁷⁾, por ello la presencia de iones es importante en la preparación de las suspensiones. La presencia de iones y cargas en el medio dispersante de una suspensión de caolín, también genera cambios en su reología, así, bajo potenciales atractivos puede aumentar la viscosidad de la suspensión⁽¹⁰⁾ y al añadir iones como calcio, sodio, potasio o magnesio, entre otros, cambia el comportamiento de la suspensión^(11,12), es decir, ocurren cambios reológicos, como en la viscosidad, la tixotropía y/o en el esfuerzo de fluencia.

Estos cambios en la reología de las suspensiones debido a la presencia de iones o cargas ocurren por los cambios que se pueden dar en las formas agregadas de las partículas de caolinita. Su forma cristalina está conformada por dos láminas de alúmina y sílice y sus partículas son de forma plana y hexagonal. Los bordes poseen carga negativa, mientras que las caras, dependiendo del pH de la suspensión pueden tener carga negativa o positiva^(13,14). Estas diferencias de cargas, permiten que las partículas se agreguen de formas diferentes⁽¹⁵⁾, lo cual también ocasiona comportamientos reológicos diferentes^(2,5,16-19). Así, cuando las partículas presentan un mayor empaquetamiento, la viscosidad de las suspensiones es mayor, debido a la reducción del espacio que puede ser ocupado por el agua⁽⁵⁾ y cuando las partículas se separan debido a fuerzas repulsivas, disminuye la viscosidad de la suspensión⁽¹⁰⁾.

En cuanto a las características del agua usada en el beneficio de caolín y las propiedades reológicas de las suspensiones cerámicas, se ha reportado que la conductividad puede afectar la viscosidad de las suspensiones, en tanto que si la conductividad del agua aumenta, también incrementa la demanda de electrolitos -DE- debido a un aumento en la viscosidad de la suspensión⁽²⁰⁾

2. Metodología

2.1 Materia prima y agua

Se realizaron 2 ensayos de beneficio de caolín por vía húmeda, en ambos se usó la misma mez-

cla de materia prima, proveniente de La Unión – Antioquia, a la cual se le realizó análisis de Fluorescencia de Rayos X -FRX- y pérdidas por ignición -PPI-, y agua de diferentes fuentes y calidades, las cuales tenían diferentes valores de pH y conductividad (ambos medidos por método potenciométrico), cloro libre (medido por el método colorimétrico), acidez, alcalinidad y dureza total, medidos por los métodos titulométricos 2310, 2320 y 2340C del libro Standard Methods edición 22⁽²¹⁻²³⁾.

2.2 Ensayos

2.2.1 Ensayo 1: se realizaron 3 beneficios de caolín usando en cada uno una corriente de agua diferente, las cuales fueron: agua desionizada (AD), agua tratada (AP) y agua usada en un proceso industrial de beneficio de caolín (AT).

2.2.2 Ensayo 2: se realizaron 6 beneficios de caolín usando en cada uno una corriente de diferente; además de las 3 usadas en el Ensayo 1, se usó agua de recirculación de un proceso industrial de beneficio de caolín (AR), agua potable (ALU) y agua de un proceso industrial de preparación de pastas cerámicas (AG).

Se determinó pH, conductividad, cloro libre, acidez, alcalinidad y dureza total a la entrada del proceso de beneficio para el Ensayo 1, y también a la salida del proceso de beneficio para el Ensayo 2. La materia prima para ambos ensayos y los procesos de obtención de caolín fueron los mismos.

2.3 Beneficio de caolín

Se realizó el beneficio en húmedo de caolín mezclando el agua de las diferentes corrientes con la materia prima, para una suspensión con contenido aproximado de 22% de sólidos secos. Se llevó esta mezcla a un tamiz mecánico con mallas 40, 200 y 325, se filtró nuevamente la suspensión resultante a través de un vibro tamiz con mallas 100, 200 y 325, este proceso garantiza que el material en suspensión tenga un tamaño de partícula inferior a 44 μm . La suspensión final se llevó a un filtro prensa para obtener el material

caolínico con un contenido aproximado de 65% de sólidos secos.

2.4 Pruebas de desempeño

Al material caolínico obtenido se le realizaron las pruebas de desempeño de Velocidad de Filtración o de Deformación, según la norma ASTM C866⁽²⁴⁾, para determinar la velocidad de conformación de la pasta cerámica; el Índice de Azul de Metileno -IAM- según la norma ASTM C837⁽²⁵⁾, para estimar su capacidad de intercambio catiónico^(16,17).

Para determinar el comportamiento reológico de los materiales obtenidos en los ensayos de beneficio se realizaron suspensiones de caolín con 2 kg secos de material en 2 kg de agua desionizada, en una mezcladora a 1,800 rpm durante 30 minutos, añadiendo como dispersante silicato de sodio 36° Be con densidad de 1,333 mg/L hasta obtener una densidad de $1,444 \pm 2$ g/L y una viscosidad $1,000 \pm 100$ cps, la viscosidad se determinó con un viscosímetro a 30 rpm. La demanda de electrolitos -DE- corresponde a la cantidad total de silicato de sodio añadido por kg de material en la suspensión. El comportamiento del espesamiento de las suspensiones preparadas se determinó por medio de la realización de curvas de defloculación con espesamiento, de forma similar a lo que se ha reportado en la literatura^(17,20,27,28) se separaron 2 kg de la suspensión anterior y se dejó reposar por 24 horas, después de lo cual se mezcló la muestra a 1,800 rpm por 3 minutos y se midió la viscosidad inmediatamente después de la mezcla y después de 3 minutos de reposo; la diferencia de la viscosidad en este tiempo de reposo corresponde al espesamiento de la suspensión⁽¹⁷⁾. Se agregó 1 mL de silicato de sodio y se repitió el proceso de mezcla y las mediciones de viscosidad hasta obtener una viscosidad entre 100 – 200 cps.

3. Resultados y discusión

3.1 Materia prima

Los resultados de la Tabla 1 muestran los resultados de FRX y PPI de la materia prima, indicando

que hay un buen porcentaje de agua estructural en ella, perteneciente al caolín.

Tabla 1. Composición química de la materia prima.

Composición química	Contenido (perlas fundidas)
SiO ₂	66.30
Al ₂ O ₃	23.00
Fe ₂ O ₃	0.97
TiO ₂	0.36
CaO	0.00
MgO	0.14
Na ₂ O	0.01
K ₂ O	0.40
BaO	<0.01
MnO	0.01
P ₂ O ₃	<0.01
SO ₃	0.00
Pérdida por Ignición (%)	8.8

3.2 Calidad del agua

Tabla 2: Caracterización de las corrientes de agua usadas en el Ensayo 1.

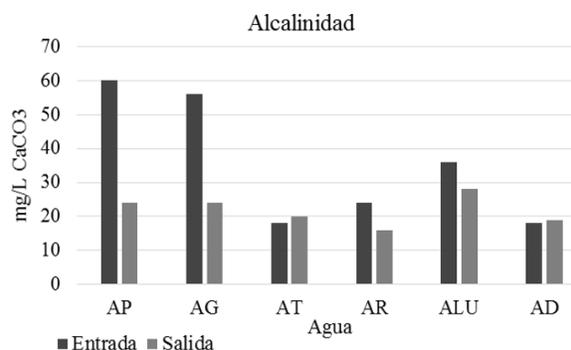
Parámetro	AD	AT	AP
Cloro libre (mg/L Cl ₂)	0.05	0.21	0.20
Conductividad (µS/cm)	8.00	76.5	165.3
pH	5.79	5.93	6.80
Temperatura (°C)	15.88	16.30	14.50
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	20.00	36.00	108.00
Acidez (mg/L CaCO ₃)	5.00	15.00	30.00
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	<5.00	18.22	41.64

Según la Tabla 2 se observa que la corriente AP es la que tiene una mayor conductividad eléctrica (por ende, una mayor concentración de iones), igualmente un mayor pH, alcalinidad, acidez, dureza total y cloro libre, de estos últimos 5 parámetros, los primeros 4 indican también una mayor concentración de iones y, la corriente AD es la que menos valor tiene de estos parámetros, y por ende, menor concentración de iones.

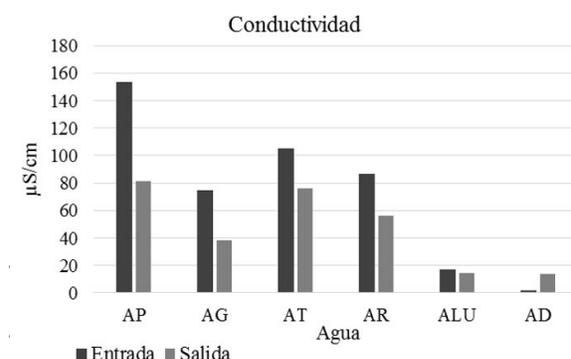
En la Figura 1 se observan los parámetros físico-químicos de cada corriente de agua usada en el En-

sayo 2 y los cambios que se presentan entre la entrada al proceso de beneficio en laboratorio y la salida del agua del filtro prensa.

El cloro libre y la conductividad, Figura 2b y 2c, fueron los únicos parámetros en los que claramente se ve una tendencia a disminuir su concentración entre la entrada y la salida del proceso de beneficio, con excepción de la conductividad en la corriente AD. La alcalinidad y la dureza tuvieron comportamientos similares, Figuras 2a y 2f, con excepción de las corrientes AT y AD, estos parámetros disminuyeron su concentración con respecto a la entrada del proceso. No es posible confirmar una tendencia a aumentar o disminuir para los parámetros de pH y acidez, puesto que se presentó mucha variabilidad en las corrientes. No es posible confirmar que el agua esté aportando o recibiendo iones del caolín, pues no hay ninguna tendencia común en todas las corrientes de agua usadas. Sin embargo, a concentraciones muy bajas de iones, como en AD, es posible que el caolín aporte iones al agua, pues la conductividad aumentó, así como la dureza total, aunque la alcalinidad y la acidez permanecieron con valores similares



a



b

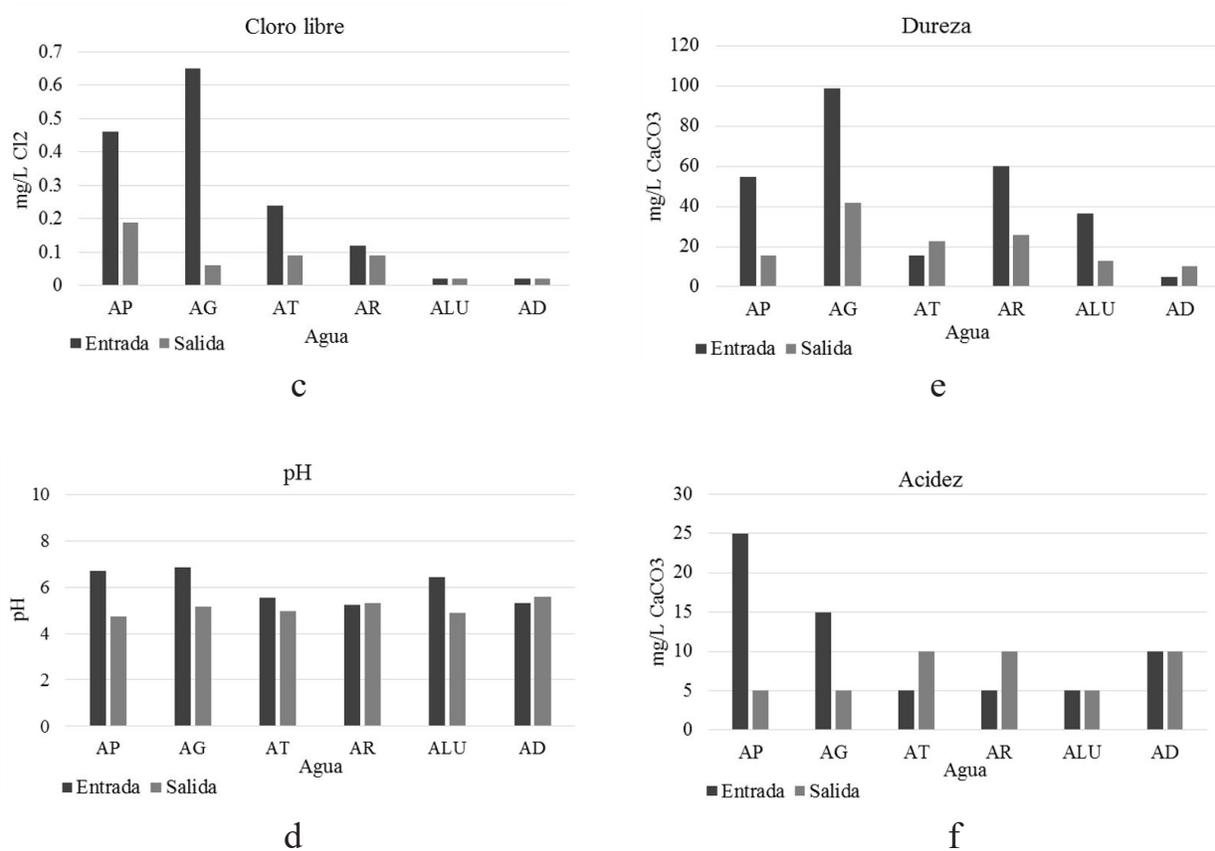


Figura 1: variación a la entrada y salida del proceso de beneficio de caolín, de las corrientes de agua usadas en el Ensayo 2, para los parámetros de: a. Alcalinidad. b. Conductividad. c. Cloro libre. d. pH. e. Dureza. f. Acidez.

3.3 Pruebas de desempeño del caolín

3.3.1 Ensayo 1

La Tabla 3 muestra los valores de las pruebas de desempeño de IAM, Velocidad de deformación y DE para los materiales obtenidos del Ensayo 1, en el cual se llevó a cabo el beneficio de caolín con 3 corrientes de agua diferentes.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de desempeño de IAM, Velocidad de deformación y DE de los materiales caoliniticos obtenidos en el Ensayo 1.

Material	IAM (meq/100g)	Velocidad de deformación (g/min)	DE (mL/Kg Na ₃ SiO ₃)
Caolín AD	6.54	10.50	4.8
Caolín AT	6.53	9.89	5.0
Caolín AP	6.56	8.63	5.2

Se observa que las variaciones del IAM son despreciables; siendo el IAM una estimación de la capacidad de intercambio catiónico del caolín (29) y, siendo el agua un donante o receptor de iones, estos resultados muestran que el agua no está aportando cationes intercambiables con los que los iones del caolín puedan interactuar.

La velocidad de deformación exhibe cambios cuando el material es tratado con diferentes tipos de agua, así, el material que mayor velocidad de deformación tuvo fue el obtenido en el beneficio con agua desionizada, y el de menor velocidad fue el obtenido con agua tratada AP. Esto puede deberse al mayor empaquetamiento de las partículas con el agua tratada, al haber más cantidad de iones para interactuar, las fuerzas de interacción entre las partículas pueden resultar atractivas (10), dificultando la extracción del agua que hay contenida entre. La velocidad de deformación es uno de

los indicadores de rendimiento en la preparación de porcelana sanitaria, por lo que los valores obtenidos para los materiales mostrados en la Tabla 4, indican que usando el tipo de agua AP se necesitaría menos tiempo o menos material para la preparación de este tipo de cerámica.

Los valores de DE indican que hay una relación entre la viscosidad de una suspensión de caolín y el agua usada para la obtención dicho caolín, pues el caolín tratado con agua AP, la cual tiene un mayor contenido de iones, medidos en términos de pH, alcalinidad, acidez, dureza total y conductividad, requirió mayor cantidad de silicato de sodio para disminuir su viscosidad a 900-1,000 cps que los caolines obtenidos con el agua AD y con el agua AT. Se ha reportado que la DE de las suspensiones de caolín incrementa cuando la conductividad del agua del beneficio aumenta^(20,30), aunque la presencia de álcalis pueden reducir la viscosidad de una suspensión cuando ésta tiene un potencial zeta alto⁽²⁷⁾

Como la conductividad es un parámetro que se debe a la presencia de iones en solución en el agua, que están relacionados con la alcalinidad, la acidez, la dureza y el pH; al aumentar los valores de éstos parámetros la conductividad del agua aumenta, lo cual afecta la preparación de las suspensiones de caolín, debido a que la viscosidad de las suspensiones puede cambiar dependiendo de las características del agua, lo cual lleva a que se deba aumentar la cantidad de silicato de sodio requerido para disminuir la viscosidad de la suspensión.

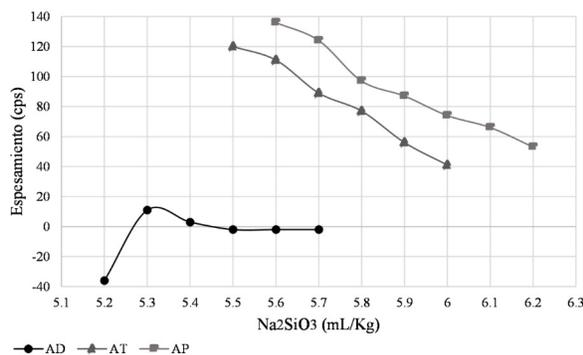


Figura 2. Curvas de espesamiento para los materiales obtenidos en el Ensayo 1 con las corrientes AD, AT Y AP.

En la Figura 2 se muestran las curvas de espesamiento de los materiales obtenidos en el Ensayo 1

(la variación de la viscosidad con el tiempo a partir de la adición de silicato de sodio y un esfuerzo de cizalla aplicado en la mezcla), es decir, la tixotropía de la suspensión, entendiendo este parámetro como la diferencia entre la rigidez y/o la viscosidad de la suspensión después de una fuerte agitación y la rigidez o viscosidad después del reposo⁽¹⁷⁾, se observa entonces, el comportamiento tixotrópico de los materiales obtenidos. Los valores negativos en la gráfica, indican que no hubo espesamiento en ese punto de la curva, sino más bien una dispersión, es decir, la viscosidad en lugar de aumentar durante el reposo, disminuyó, o en el caso de los tres últimos puntos de la curva del material AD, no hubo una variación considerable de la viscosidad.

A pesar de las diferentes DE de los materiales AT y AP, estos tienen un comportamiento tixotrópico muy similar, pues las curvas y los valores de espesamiento son parecidos, sin embargo, el comportamiento tixotrópico del material AD sí muestra diferencia respecto a los otros, con valores de espesamiento más pequeños. Es posible que la presencia de iones y cargas en las corrientes AT y AP hayan contribuido a una modificación de la forma agregada de las partículas de caolín, permitiéndoles un mayor empaquetamiento, y por ende, una mayor viscosidad⁽⁵⁾, por lo que es necesario añadir más cantidad de silicato de sodio para disminuir la viscosidad y se obtiene un mayor espesamiento en reposo (tixotropía).

3.3.2 Ensayo 2

En la Tabla 4 se muestran los valores de las pruebas de desempeño de IAM y DE de los materiales obtenidos en los procesos de beneficio del Ensayo 2, con 6 corrientes de agua diferentes.

Tabla 4. Resultados de las pruebas de IAM y DE para los materiales obtenidos en el Ensayo 2.

Material	IAM (meq/100g)	DE (mL/Kg Na ₂ SiO ₃)
Caolín AG	6.15	5.9
Caolín AP	6.12	6.2
Caolín AT	6.03	6.3
Caolín AR	6.01	6.2
Caolín ALU	6.03	5.0
Caolín AD	5.98	5.5

Se observa nuevamente que las variaciones en IAM son muy pequeñas en relación a la calidad del agua, sin embargo, se encuentra que hay una diferencia entre el valor obtenido para el caolín AG y para el caolín AD, preparados con las corrientes con mayor cantidad de iones y con menor cantidad de iones, respectivamente; esto puede deberse a que algunos cationes intercambiables de la superficie del caolín, como el Ca^{2+} , pueden ser reemplazados por otros iones presentes en el agua, modificando la capacidad de intercambio catiónico del caolín y sus cargas superficiales ⁽¹³⁾, teniendo como consecuencia cambios en la reología de las suspensiones ⁽³¹⁾.

Las demandas de electrolitos de los materiales obtenidos en el Ensayo 2 se encuentran en un rango de DE entre 5.0 y 6.3 mL/Kg de Na_2SiO_3 . El valor más alto de DE, 6.3 mL/Kg, fue para el Caolín AT, aunque no es la corriente de agua con los valores más altos de alcalinidad, acidez, dureza y pH, sí fue la segunda con mayor conductividad. El segundo valor más alto de DE, 6.2 mL/Kg, lo obtuvieron el Caolín AP y el Caolín AR, corrientes que presentan valores similares en la dureza total. El tercer valor de DE, 5.9 mL/Kg, fue para el Caolín AG, esta corriente tiene valores altos de la alcalinidad, la acidez y la dureza. El penúltimo valor de DE, 5.5 mL/Kg, lo obtuvo el Caolín AD, con el cual

se esperaba tuviera la DE más baja debido a los resultados obtenidos en el Ensayo 1. Finalmente, el valor más bajo de DE, 5.0 mL/Kg, fue para el Caolín ALU, cuya característica es que tiene valores bajos para la mayoría de los parámetros.

Las corrientes AG y AP, que tienen mayor contenido de iones, obtuvieron valores de DE altos, y las corrientes ALU y AD, que tienen la menor cantidad de iones, obtuvieron los valores de DE más bajos, sin embargo, no se logra identificar claramente si hay un aumento de DE con el aumento de la cantidad de iones debido a que los valores más bajos de DE presentan una amplia diferencia, a pesar de haberse obtenido con corriente de características muy similares.

A pesar de que se ha reportado que valores altos de conductividad, afectan la cantidad de electrolitos necesarios para obtener una dispersión a cierta viscosidad (15,18), este parámetro es una medida asociada a la concentración de iones en solución, por lo que al aumentar el pH, la acidez, la alcalinidad, la dureza e incluso el cloro libre, incrementa el valor de la conductividad, y por lo tanto alguno de estos parámetros o la combinación de ellos sean los que producen los cambios reológicos de las suspensiones de caolín.

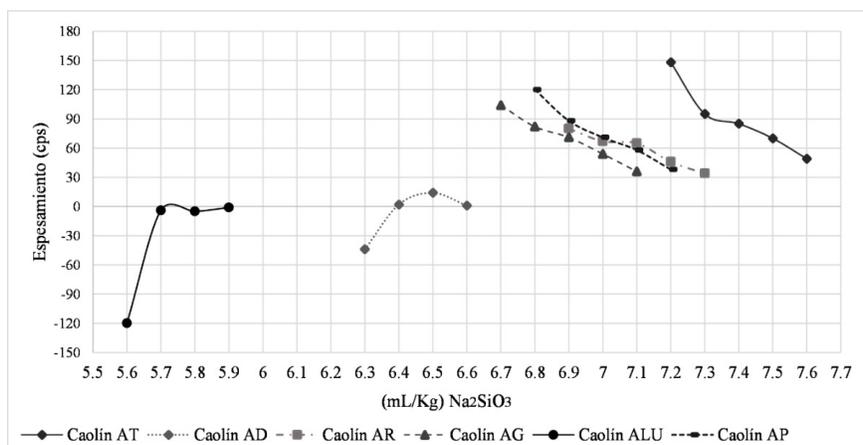


Figura 3: Curvas de espesamiento para los materiales obtenidos en el Ensayo 2.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento reológico, en términos de espesamiento, de las suspensiones realizadas con los materiales obtenidos en el Ensayo 2. De forma similar a lo ocurrido en el Ensayo 1, el Caolín AD tuvo

valores de espesamiento más pequeños, al igual que el Caolín ALU, cuyas corrientes de agua fueron las que obtuvieron menores valores en los parámetros de calidad. Los materiales Caolín AR, Caolín AG y Caolín AP, a pesar de haber tenido

valores diferentes de DE, tuvieron comportamientos tixotrópicos similares, pues sus curvas y valores de espesamiento son parecidas, sin embargo, el Caolín AT, tuvo un comportamiento diferente a los demás materiales, teniendo unos valores de espesamiento más altos.

Se puede observar el cambio del comportamiento reológico comparando los materiales obtenidos con las corrientes de agua con menor y con mayor contenido de iones. De ésta forma, comparando las curvas de espesamiento del Caolín AD y el Caolín ALU (obtenidos con las corrientes con menor presencia de iones) y la curva de espesamiento del Caolín AP (obtenido con la corriente con mayor presencia de iones) la diferencia en las curvas de espesamiento es notable, pues las dos primeras muestran variaciones en la viscosidad más pequeñas, y la tercera tiene valores más altos en la variación de la viscosidad a pesar de mostrar una reducción más constante en el valor del espesamiento, es decir, valores similares con cada adición de silicato de sodio.

Así, con los resultados obtenidos en los Ensayos 1 y 2 se podría afirmar, que entre menor cantidad de iones tiene el agua usada en el beneficio de caolín, el comportamiento tixotrópico de las suspensiones del material, en términos de espesamiento, sería más constante y su viscosidad menor.

4. Conclusiones

Se comprobó que la calidad del agua usada en el beneficio de caolín (en términos de pH, alcalinidad, acidez, dureza, cloro libre y conductividad) puede afectar ciertos aspectos del comportamiento reológico de las suspensiones de caolín cerámico, como lo son la Velocidad de deformación, la Demanda de Electrolitos y/o el espesamiento:

- Cuanto menor cantidad de iones están presentes en el agua usada para la obtención del caolín, la Velocidad de deformación del material puede ser mayor, esto debido a que el menor aporte de iones al sistema implica menor aparición de formas agregadas o un menor empaquetamiento de

las partículas, facilitando la extracción del agua y la conformación de la pasta cerámica.

- La conductividad del agua usada en el proceso de obtención de caolín por la vía húmeda sí afecta la demanda de electrolitos de las suspensiones de caolín, sin embargo, este es un parámetro que se ve afectado por otros, como lo son el pH, la alcalinidad, la acidez, la dureza, y todos aquellos que estén relacionados con iones en solución, por lo cual se hace más complicado controlarlo, por lo tanto, es recomendable determinar y ajustar los parámetros asociados, pues como se encontró en el Ensayo 1 hay una relación entre el aumento de los valores de estos parámetros en el agua de proceso y el aumento de la DE de las suspensiones de caolín, así mismo se observó que para los valores más bajos de concentración de iones en el agua se obtuvieron los materiales con DE más bajas en el Ensayo 2.

- En los ensayos 1 y 2 se observó que, a bajas concentraciones de iones en el agua usada para la obtención de caolín, los cambios de viscosidad en las curvas de espesamiento de las suspensiones son más pequeños e irregulares, y a medida que se incrementa la cantidad de iones en el agua se observan cambios en las curvas de espesamiento, mostrando una disminución más constante y controlada de la viscosidad. Sin embargo, no se encontró relación entre el espesamiento y el aumento de algún parámetro de calidad de agua específico.

5. Agradecimientos

A la empresa SUMICOL S.A.S por financiar el proyecto.

6. Referencias

1. Bartolomé JF. El Caolín: composición, estructura, génesis y aplicaciones. Bol Soc es pañola Cerámica y Vidr. 1997;36:7-20.
2. Gupta V, Hampton MA, Stokes JR, Nguyen A V., Miller JD. Particle interactions in kaolinite suspensions and corresponding aggregate structures. J Colloid Interface Sci. [Internet]. 2011;359(1):95-103. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2011.03.043>

3. Ma K, Pierre AC. Clay Sediment-Structure Formation In Aqueous Kaolinite Suspensions. *Clays Clay Miner.* 1999;47(4):522–
4. Herrington TM, Clarke AC, Watts JC. the Surface Charge of Kaolin. *Colloids and Surfaces.* 1972;68:161–9.
5. Nuntiya A, Prasanphan S. The Rheological Behavior of Kaolin Suspensions. *Chiang Mai J Sci.* 2006;33(3):271–81.
6. Penner D, Lagaly G. Influence of anions on the rheological properties of clay mineral dispersions. *Appl Clay Sci.* 2001;19:131–42.
7. Amorós JL, Beltrán V, Sanz V, Jarque JC. Electrokinetic and rheological properties of highly concentrated kaolin dispersions: Influence of particle volume fraction and dispersant concentration. *Appl Clay Sci.* [Internet]. 2010;49:33–43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2010.03.020>
8. Zhao LH, Hu JR, He BH. Effect of Electrical Characteristics Modification on Viscosity of Kaolin Suspension. *Adv Mater Res.* [Internet]. 2011;335–336:1262–6. Available from: <http://www.scientific.net/AMR.335-336.1262>
9. Landrou G, Brumaud C, Plötze ML, Winnefeld F, Habert G. A fresh look at dense clay paste: Deflocculation and thixotropy mechanisms. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2018;539:252–60.
10. Melton IE, Rand B. Particle interactions in aqueous kaolinite suspensions. *J Colloid Interface Sci.* 1977;60(2):308–20.
11. Landrou G, Brumaud C, Habert G. Influence of magnesium on deflocculated kaolinite suspension: Mechanism and kinetic control. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2018;544(2017):196–204.
12. Lagaly G. Principles of flow of kaolin and bentonite dispersions. *Appl Clay Sci.* 1989;4(2):105–23.
13. Ma CHI, Eggleton RA. Cation Exchange Capacity of Kaolinite. *Clays Clay Miner.* 1999;47(2):174–80.
14. Avadiar L, Leong YK, Fourie A. Physicochemical behaviors of kaolin slurries with and without cations-Contributions of alumina and silica sheets. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2015; 468: 103–13. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.col-surfa.2014.12.019>
15. Bennett RN, Hulbert M. Clay Microstructure. International Human Resources Development Corporation. 1986. 137 p.
16. Ferrari B, Barbara S. Corportamiento coloidal de un caolín deshidratado. *Boletín la Soc Española Cerámica Vidr.* 2000;39(2):229–35.
17. Linares J, Huertas F, Barahona E. Reología de suspensiones de minerales de la arcilla. *Bol Soc Española Cerámica Vidr.* 1969;8(6):635–44.
18. Yuan J, Murray HH. The importance of crystal morphology on the viscosity of concentrated suspensions of kaolins. *Appl Clay Sci.* 1997;12(3):209–19. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131797000069>
19. Usuga-Manco LM, López-Valdivieso A, Bustamante-Rúa MO. Hydrophobicity study of kaolinite from La Unión, Antioquia. *Tecno Lógicas.* 2015;18(35):71–81.
20. Bruno dSJG, Urano dCEF, Cabral KN, Gracher RH, Bernardin AM. Influencia del agua de proceso en la viscosidad de la suspensión cerámica. *Qualicer.* 2008;(1):121–6.
21. ASTM. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 2310 ACIDITY (2017). In: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater [Internet]. American Public Health Association; 2018. Available from:<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.022>

22. ASTM. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. 2320 Alkalinity (2017). In: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater [Internet]. American Public Health Association; 2018. Available from: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.023>
23. ASTM. Wastewater SMF the E of W and. 2340 HARDNESS (2017). In: Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater [Internet]. American Public Health Association; 2018. Available from: <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.025>
24. ASTM. Standard Test Method for Filtration Rate of Ceramic Whiteware Clays, ASTM designation: C866-11. 2014;11(Reapproved 2016):1–2.
25. ASTM. Standard test method for methylene blue index of clay, ASTM designation: C837-81. 1992;09(Reapproved):837-81 SRC-Google-Scholar FG-0.
26. Robertson RH, Ward RM. The Assay of Pharmaceutical Clays. *An Int J Pharm.* 1951;3(1):27–35.
27. Street N. The rheology of kaolinite suspensions. *Aust J Chem.* 1956;9(4):467–79.
28. Aguilera GGF. Simulación de la viscosidad de suspensiones minerales mediante el uso de redes neuronales. Tesis de Magíster, Facultad de Minas, Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia; 2005. http://intranet.minas.medellin.unal.edu.co/index.php?option=com_docman&task=-cat_view&gid=244&limit=8&limit_start=0&order=date&dir=DESC&Itemid=285.
29. Grim RE. *Clay Mineralogy*. McGraw-Hill; 1953.
30. Quiceno OAM, Aguilera GGF. Estudio del proceso de tratamiento del agua como materia prima en el proceso de beneficio de caolín. Universidad de Antioquia; 2007. <http://opac.udea.edu.co/cgi-olib/?infile=details.glu&loid=1051207&rs=10377019&hitno=2>
31. Avadiar L, Leong YK, Fourie A, Nugraha T, Clode PL. Source of Unimin kaolin rheological variation-Ca²⁺ concentration. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* [Internet]. 2014;459:90–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.06.048>



Revista Ingeniería y Competitividad por Universidad del Valle se encuentra bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.