

Efecto de la concentración de sólidos en la reología de las hidromezclas de arcillas cerámicas en el proceso de lavado

Effect of solids concentration on the rheology of ceramic clay hydro-mixtures in the washing process

Héctor Luís Laurencio-Alfonso^{1*}, Yoalbys Retirado-Mediaceja², Enrique Torres-Tamayo¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Universidad de Moa, Holguín, Cuba

Autor para la correspondencia: hector.laurencio@utc.edu.ec

Resumen

El estudio reológico de las hidromezclas de arcillas cerámicas es esencial para diseñar equipos y procesos de lavado. En el presente estudio se analizaron hidromezclas con concentraciones de arcilla de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso y se obtuvo la correlación de esfuerzo de corte en función del gradiente de velocidad. Se observó que el fluido presenta comportamiento newtoniano para concentraciones de hasta el 15 % y comportamiento plástico ideal para concentraciones mayores. Con la finalidad de estimar los valores de la viscosidad plástica se determinó la dependencia decreciente de la fracción máxima de empaquetamiento de la mezcla en función de la concentración de arcilla. Como resultado, queda propuesto un modelo general para estimar la viscosidad aparente de la hidromezcla durante el proceso de lavado de arcillas cerámicas, el cual considera la concentración de arcilla, el coeficiente dinámico de viscosidad del agua de la hidromezcla y el gradiente de velocidad.

Palabras clave: Comportamiento reológico de hidromezclas; arcillas cerámicas; viscosidad aparente; fracción máxima de empaquetamiento.

Abstract

The rheological study of ceramic clay hydro mixtures is essential to design equipment and washing processes. Hydro mixtures with clay concentrations of 15%, 25%, 35%, 45% and 55% by weight were analyzed and the correlation of shear stress as a function of the velocity gradient was obtained. It was observed that for concentrations up to 15%, the fluid, presents Newtonian behavior as well as ideal plastic behavior for higher

concentrations. In order to estimate values of plastic viscosity, the decreasing dependence of maximum packing fraction of the mixture as a function of the clay concentration was determined. As a result, a general model is proposed for estimating the apparent viscosity of the hydro mixture during the ceramic clay washing process, which considers the clay concentration, dynamic viscosity coefficient of the hydro mixture water and the velocity gradient.

Keywords: Rheological behavior of hydro-mixtures; ceramic clays; apparent viscosity; maximum packing fraction

1. INTRODUCCIÓN

La caracterización reológica es de gran importancia para el diseño adecuado de máquinas y procesos de lavado de las arcillas utilizadas en la industria cerámica (Laurencio *et al.* 2020). Con el objetivo de mejorar la calidad del producto final, se hace necesario contar con información detallada sobre las propiedades reológicas del lodo generado durante el proceso de lavado de arcilla.

Las propiedades reológicas de hidromezclas han sido objeto de varias investigaciones. Pérez y otros investigadores (2008) reportan resultados de la experimentación con una suspensión acuosa industrial, procedente del proceso de lixiviación ácida. La reología de la suspensión se determinó como una función de la concentración del sólido y del pH. Las curvas de flujo para 25 % y 47,5 % en peso de sólido se ajustan al modelo de Bulkley-Herschel, y la curva de flujo para 10 % en peso muestra un flujo pseudoplástico, que puede describirse bien por el modelo de Ostwald de Waele. La viscosidad aparente de la suspensión es grandemente dependiente del pH, alcanzando su valor máximo al pH que se encuentra alrededor del punto de carga cero ($p.c.c = 5,7$).

Leyva, Guillen y Laurencio (2016) analizan el comportamiento reológico y de la viscosidad aparente del lodo residual producido en el proceso de lavado de áridos; se selecciona una muestra representativa para llevar a cabo análisis granulométricos y determinan la densidad aparente del sólido y la densidad del lodo. Además, calculan el porcentaje de sólidos y diseñan un experimento para llevar a cabo pruebas reológicas. Los resultados demuestran que el lodo utilizado tiene un diámetro del 80 % cernido igual a 0,039 mm, y una densidad aparente de la arcilla de 1,989 kg/m³. También revelan que el lodo tiene un comportamiento pseudoplástico en todas las concentraciones de sólidos analizadas y proponen un modelo matemático para predecir la viscosidad aparente.

Los resultados de Martínez y Hernández (2015) demuestran que las pulpas de cieno se comportan como un plástico ideal ajustable al modelo de Bingham

para concentraciones de sólidos entre el 30 % y el 50 %. A partir de estos valores obtienen los parámetros reológicos de esfuerzo cortante inicial y viscosidad plástica, y su relación con el comportamiento de la viscosidad aparente.

En el artículo publicado por Angélica y demás colaboradores (2010) se lleva a cabo un estudio sobre muestras de laterita ferruginosa, cieno carbonatado, yeso y sulfuro de Ni+Co utilizados en el proceso de lixiviación ácida a presión (LAP) para la extracción de sulfuros de Ni y Co. Concluyen que la laterita, el cieno y el yeso están compuestos principalmente por partículas finas (menores a 0,045 mm), lo que explica su comportamiento reológico, ajustable al modelo de Bulkley-Herschel. En contraste, el sulfuro de Ni+Co tiene una distribución de tamaño similar a un material monodisperso y se ajusta bien al modelo de Newton.

Una buena caracterización reológica puede ser usada como parámetro de control dentro del procesamiento industrial. Los resultados de Bustamante, Rojas y Quitian (2016) muestran que es posible la modificación de la viscosidad alterando el contenido de finos sin cambiar la concentración en peso de una suspensión. Suspensiones de caolín con contenidos de finos alrededor de 40 % tienden a disminuir su valor de viscosidad. Suspensiones con cantidades de finos mayores a 60 %, aumentan el valor de su viscosidad. Ellos también presentan los mecanismos propuestos por los cuales la presencia de finos aumenta o disminuye el valor de la viscosidad de una suspensión.

Filho, Sinhorelli y Medeiros (2020) al estudiar el comportamiento reológico de diferentes pastas cementosas preparadas con cemento Portland CP V-ARI RS y adición de metacaolín y residuos de ladrillo, cerámico plantean que para la comprensión del comportamiento reológico de las pastas de cemento en estado fresco, pueden utilizarse varias técnicas como la reometría de flujo y oscilación, el método de esparcimiento de miniconos, el flujo de embudo Marsh, el método de flujo Squeeze y la prueba de Vane.

En las mediciones reológicas reportadas por la investigación de pastas y morteros de cemento, modificados con cal y éter de celulosa (Spychał 2020), incluyen el límite elástico y la viscosidad plástica. Para los morteros se determina la densidad aparente, el contenido de aire, la retracción y la retención de agua. Los resultados de las pruebas confirman el efecto benéfico de la adición de cal hidratada y éter de celulosa sobre las propiedades del yeso fresco. La adición de éter de celulosa aumenta el coeficiente de retención de agua en al menos un 10 %, en comparación con los morteros sin éter de celulosa. Revelan cómo se puede relacionar el comportamiento reológico de las mezclas con la resistencia mecánica del producto final.

Correa, Rojas y Tobón (2018), por su parte, plantean que la adición de cenizas volantes y humo de sílice en la mezcla de concretos en estado fresco, incide directamente en el comportamiento reológico de la hidromezcla, lo que promueve una mayor interacción de partícula a partícula y actúa como centro de nucleación, aumentando la fricción entre ellas y facilitando la formación de flóculos; esto se traduce en un aumento del límite elástico, la viscosidad y el tiempo de evacuación.

En un artículo de Zapata y otros investigadores (2022), referente a mezclas de concreto, se determinan las propiedades reológicas de un concreto autocompactante, con adiciones de ceniza de caña de azúcar como material puzolánico; además, un aditivo superplastificante para mantener maleabilidad. Se deduce que la adición de ceniza supera el límite de la relación agua/fino recomendada, aunque se ha demostrado que mejora la eficacia del hormigón autocompactante, encontrándose una relación directa entre el comportamiento reológico y la resistencia del material.

Laurencio, Gilbert y Retirado (2017) exponen el procedimiento para realizar el estudio reológico de un fluido, considerándose dos variables de entrada y una de salida. A partir del estudio reológico de un petróleo crudo pesado de 11° API, se demuestra que el petróleo mantiene un comportamiento seudoplástico para variación de temperatura de 29 °C a 69,8 °C. Para este caso se observa que la temperatura no provoca cambios significativos en el índice de flujo, manteniendo un valor promedio de 0,925.

Los estudios realizados en suspensiones mineras han permitido descubrir que, para distintas concentraciones, las curvas de flujo presentan un comportamiento seudoplástico. Sin embargo, para concentraciones superiores al 22 % en peso de sólidos, la viscosidad y el comportamiento reológico se vuelven más plásticos y pueden ajustarse al modelo de Bingham en algunos casos, y al de Bulkley-Herschel en otros (Martínez y Hernández 2015).

Esta investigación que aquí se presenta tuvo por objetivo determinar los parámetros reológicos de hidromezclas en el proceso de lavado de arcillas, y obtener el modelo de viscosidad aparente ajustado según su comportamiento reológico predominante.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Modelos reológicos de ajuste de la hidromezcla

Para el análisis del ajuste del modelo reológico de la hidromezcla de arcilla, se consideró a la suspensión como un fluido independiente del tiempo, dado que la dependencia del tiempo para estos fluidos se debe a la sedimentación

(Laurencio *et al.* 2020). Los modelos reológicos utilizados para el análisis del comportamiento del fluido se plantean a continuación, según Garcell (1998).

- Modelo para fluidos Newtonianos; definido por la ley de Newton de la viscosidad.

$$\tau = \mu \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} \right) = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (1)$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (Pa).

μ : coeficiente dinámico de viscosidad ($Pa \cdot s$).

- Modelo para fluidos no Newtonianos pseudoplásticos y dilatantes; Su curva de flujo se describe por el modelo de Ostwald de Waele (para pseudoplásticos, $n < 1$; para dilatantes, $n > 1$).

$$\tau = K \cdot \left(\dot{\gamma} \right)^n \quad (2)$$

Donde:

n : índice de flujo o de potencia (adimensional).

K : índice de consistencia másica ($Pa \cdot s^n$).

- Para fluidos plásticos ideales, se plantea el modelo de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma} \quad (3)$$

Donde:

τ_0 : esfuerzo de corte inicial o límite a la fluencia (Pa).

μ_p : viscosidad plástica ($Pa \cdot s$).

- La viscosidad plástica de un fluido puede modelarse mediante la concentración volumétrica (Maron y Martínez 2015).

$$\mu_p = \mu_{H_2O} \cdot \left(1 - \frac{\phi}{\phi_m} \right)^{-2} \quad (4)$$

Donde:

μ_{H_2O} : coeficiente dinámico de viscosidad del agua ($Pa \cdot s$).

ϕ : fracción volumétrica del fluido (adimensional).

ϕ_m : fracción máxima de empaquetamiento de mezcla (adimensional).

- Para determinar el coeficiente dinámico de viscosidad del agua, se propone la siguiente correlación (Belaño y Lascano 2022).

$$\mu_{H_2O} = (-0,44 \cdot \ln T + 2,29) \cdot 10^{-3} \quad (5)$$

Donde:

T : temperatura del agua ($^{\circ}C$).

- Para fluidos plásticos reales, se plantea el modelo de Herschel–Bulkley.

$$\tau = \tau_o + K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (6)$$

2.2. Efecto de la concentración de fase sólida en la viscosidad de la hidromezcla

En los sistemas coloidales y suspensiones, el efecto de las propiedades de superficie se debe, fundamentalmente, a que el comportamiento reológico es afectado grandemente por la densidad de carga superficial y por la fuerza iónica del medio dispersante, influyendo directamente sobre la interacción neta entre las partículas (Garcell 1998).

El efecto conjunto de la temperatura y la concentración en la viscosidad a gradiente de velocidad constante, está definido por la ecuación de Laurencio, Gilbert y Retirado (2017).

$$\mu = A \cdot e^{B \cdot S} \quad (7)$$

Donde:

S : concentración de sólidos, en peso (%).

A y B : se determinan a partir de los datos.

2.3. Características de la arcilla estudiada componente de la hidromezcla y descripción de técnica experimental

La arcilla estudiada durante el proceso de lavado, corresponde a las utilizadas para el proceso de fabricación de tejas en la parroquia de La Victoria, cantón

Pujilí, provincia Cotopaxi, Ecuador. Se ha demostrado que el proceso de lavado de la arcilla se mejoran las características mecánicas de las tejas, según estudios reportados (Laurencio *et al.* 2020), donde se resumen las siguientes características de la arcilla.

Tabla 1. Composición química de la arcilla

Elemento	N	P	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
ppm	28	23	4,4	0,3	7	29	0,6	0,9

En este análisis se identificó que según su composición se clasifica como una arcilla de baja calidad, por no presentar silicato e hidratado de alúmina; en la Figura 1 se muestra la característica física, la cual tiene una granulometría predominante de 53 micras, luego de haber sido beneficiadas en un proceso de molienda.



Figura 1. Arcilla empleada en la hidromezcla.

Para el estudio se formularon hidromezclas con concentraciones de arcilla de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso, combinándose cada concentración con los gradientes de velocidad del reómetro, correspondientes a 40, 70, 100, 130 y 160 1/s; obteniéndose 25 valores de esfuerzo de corte. El reómetro utilizado (serie NDJ 8S) cuenta con un rango de viscosidad de 1 a 2000 000 mPa·s, con una precisión de 1 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comportamiento reológico de las hidromezclas de arcilla

El estudio reológico de la hidromezcla se enfocó en el comportamiento físico de estas suspensiones en términos de su fluidez y viscosidad. Los resultados se enfocaron en la utilidad para modelar el comportamiento de las hidromezclas en aplicaciones industriales de lavado de arcilla. En la Figura 2 se muestra el reograma de la hidromezcla para diferentes concentraciones de arcilla.

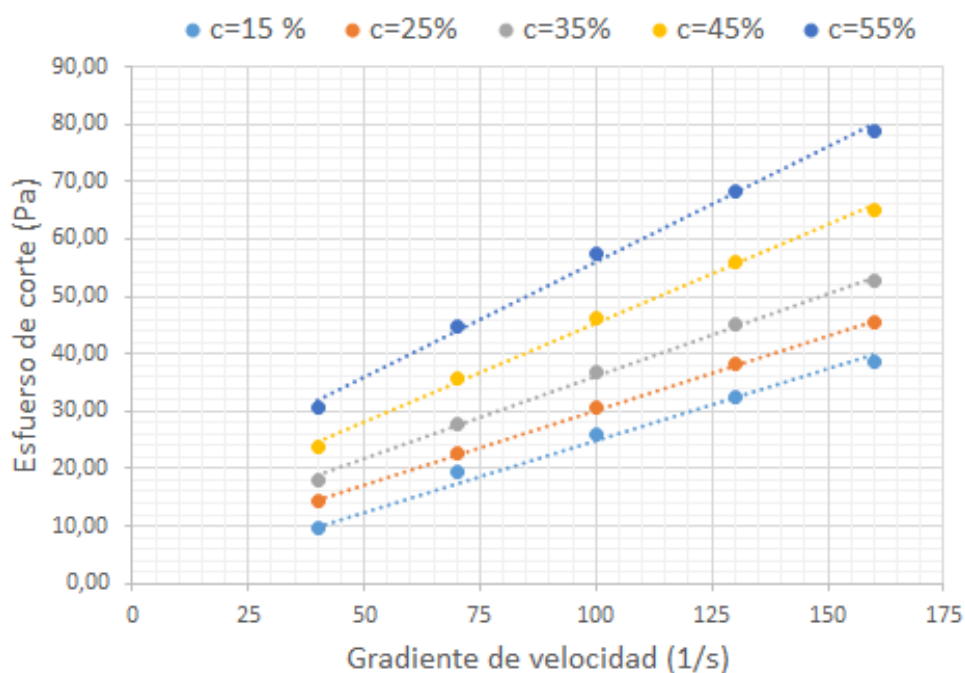


Figura 2. Reograma de las hidromezclas de arcilla, para concentración de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso.

Del análisis reológico, a partir de la Figura 2, se puede observar que el fluido tiene tendencias a aumentar los parámetros característicos con el incremento de la concentración de sólidos, los cuales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros reológicos de las hidromezclas

S: concentración de sólidos, en peso (%)	15	25	35	45	55
τ_0: esfuerzo de corte inicial (Pa)	0	4,22	7,35	10,89	16,12
μ_p: viscosidad plástica (Pa.s)	0,25	0,26	0,29	0,34	0,4
R^2: coeficiente de correlación múltiple	0,97	0,98	0,99	0,97	0,96

Los resultados del estudio de reología indican que el tipo de comportamiento que presentará un sistema puede depender de su rango de concentración. En este caso, la hidromezcla que tienen una baja concentración (15 %), se ajusta a un comportamiento newtoniano, con el valor del esfuerzo de corte inicial igual a cero (ecuación 1). A medida que la concentración de arcilla se incrementa, para valores de 25, 35, 45 y 55 % en peso, la hidromezcla se ajusta a un comportamiento no newtoniano, del tipo plástico ideal (modelo de Bingham, ecuación 3), para los cuales se obtienen valores crecientes de esfuerzo de corte inicial y de la viscosidad plástica. La viscosidad aparente para este tipo de fluidos se deduce combinando la ecuación 1 con la ecuación 3, resultando en la expresión 8:

$$\mu_a = \frac{\tau_0}{\gamma} + \mu_p \quad (8)$$

En los fluidos con comportamiento plástico ideal (según ecuación 8), su viscosidad aparente disminuye con el aumento del gradiente de velocidad, a diferencia de la concentración de mezcla de 15 %, donde la viscosidad permanece constante (Figura 3).

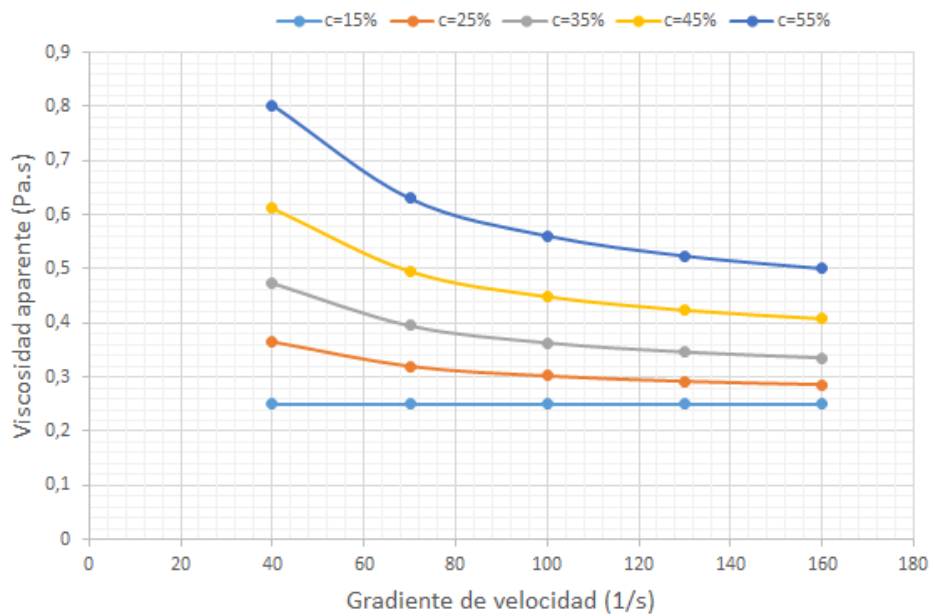


Figura 3. Comportamiento de la viscosidad aparente de las hidromezclas de arcilla, para concentración de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso.

3.2. Análisis de la influencia del contenido de sólido en las propiedades de la hidromezcla de arcilla

De los resultados obtenidos en la Tabla 2 se puede apreciar que los parámetros reológicos, esfuerzo de corte inicial y viscosidad plástica, aumentan con el incremento de la concentración de arcilla en la hidromezcla, en la Figura 4 se grafica el comportamiento del esfuerzo de corte inicial en función de la concentración de arcilla.

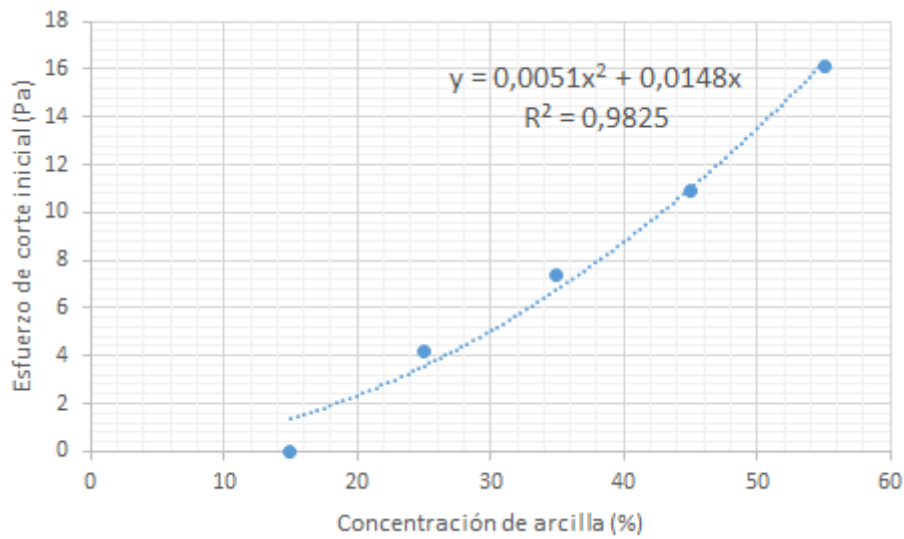


Figura 4. Dependencia del esfuerzo de corte de la arcilla en función de la concentración de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso.

De igual manera se obtiene el comportamiento de la viscosidad para concentración de 15 % y viscosidad plástica de la hidromezcla para concentraciones mayores a 15 % (Figura 5).

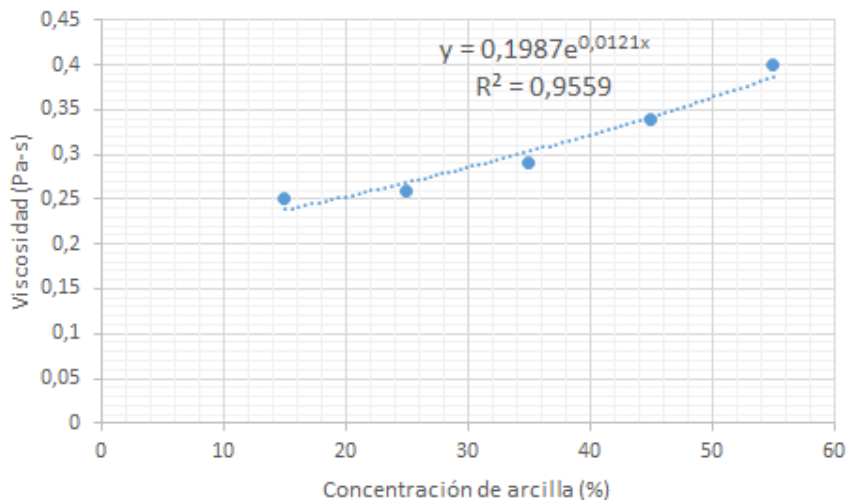


Figura 5. Dependencia de la viscosidad y viscosidad plástica de la arcilla en función de la concentración de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso.

Del análisis de tendencias de las Figuras 4 y 5 se obtienen los modelos que describen el comportamiento del esfuerzo de corte inicial (ecuación 9) y la viscosidad plástica (ecuación 10) para las diferentes concentraciones de arcilla.

$$\tau_0 = 0,0051 \cdot S^2 + 0,0148 \cdot S \quad (9)$$

$$\mu_p = 0,1987 \cdot e^{0,012 \cdot S} \quad (10)$$

Los modelos generados (ecuación 9 y ecuación 10) permiten la simulación del comportamiento de parámetros reológicos como el esfuerzo de corte inicial y la viscosidad plástica, al variar el contenido de sólidos (S), pero cabe mencionar que estos son únicamente válidos para las condiciones específicas en las que se realizó el ajuste experimental.

Al analizar la fracción máxima de empaquetamiento de mezcla, se puede obtener el comportamiento de la viscosidad plástica para diferentes concentraciones de arcilla (Maron y Martínez 2015), este factor hace referencia a cómo se acomodan las partículas de diferentes materiales dentro de una mezcla y cómo influye esto en las propiedades físicas de la misma, empleándose la ecuación 4 y la ecuación 5.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de la fracción máxima de empaquetamiento de mezcla, obtenido para las hidromezclas estudiadas, donde se observa que el mismo disminuye con el aumento de la concentración de arcilla.

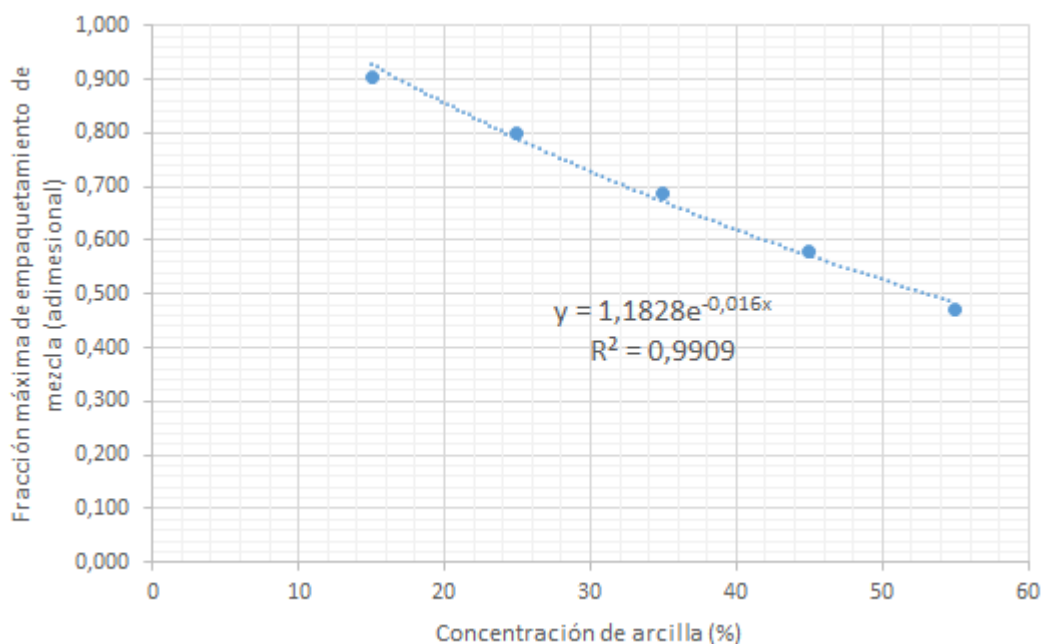


Figura 6. Dependencia de la fracción máxima de empaquetamiento de mezcla en función de la concentración de arcilla.

Mediante el análisis de los datos mostrados en la Figura 6, se obtiene la correlación de la fracción máxima de empaquetamiento de mezcla en función de la concentración de arcilla (ecuación 11), el mismo que se recomienda utilizar para el cálculo de la viscosidad plástica de las hidromezclas, con el empleo de la ecuación 4 y la ecuación 5.

$$\phi_m = 1,1828 \cdot e^{-0,016 \cdot S} \quad (11)$$

Se propone un modelo que explica cómo cambia la viscosidad aparente en relación con el contenido de sólidos, la fracción máxima de empaquetamiento de la mezcla y el gradiente de velocidad, utilizando la ecuación 8 y su relación con los modelos presentados en las ecuaciones 9 y 11.

$$\mu_a = \frac{0,0051 \cdot S^2 + 0,0148 \cdot S}{\frac{\sigma}{\gamma}} + \dots$$

$$+ \mu_{H_2O} \cdot \left(1 - \frac{\phi}{1,1828 \cdot e^{-0,016 \cdot S}} \right)^{-2} \quad (12)$$

Mediante la ecuación 12, obtenida en la investigación del comportamiento reológico de la hidromezcla de arcilla cerámica, se puede estimar la cantidad de energía necesaria para el lavado de arcillas cerámicas de la zona de La Victoria. Estos resultados constituyen una valiosa referencia para futuros estudios que se enfoquen en la simulación y modelación del proceso de hidrotransporte, lo que puede contribuir a la elección adecuada y evaluación de los sistemas de agitación y bombeo.

4. CONCLUSIONES

- Al analizar las curvas reológicas de la hidromezcla, para las concentraciones de 15 %, 25 %, 35 %, 45 % y 55 % en peso, se observa que para concentraciones de 15 %, el fluido presenta un comportamiento newtoniano; mientras que para concentraciones mayores se comporta como un fluido plástico ideal, incrementando el esfuerzo de corte inicial hasta 16,12 Pa, para una concentración de 55 % de sólidos.
- La dependencia de la fracción máxima de empaquetamiento de mezcla en función de la concentración de arcilla, mostró un comportamiento decreciente; el modelo obtenido es de gran utilidad para obtener los valores de viscosidad plástica en función del coeficiente dinámico de viscosidad mezcla y la fracción volumétrica de agua.
- La ecuación 12, propuesta en el presente trabajo, puede ser utilizada para estimar la viscosidad aparente de la hidromezcla durante el proceso de lavado de arcillas cerámicas de la zona de La Victoria; ayudando a la selección adecuada y evaluación de los sistemas de agitación y bombeo.

5. REFERENCIAS

- Angélica, R.; Rojas, A.; Garcell, L. and Pérez L. 2010: Mineralogía y reología de suspensiones minerales del proceso de lixiviación ácida a presión en Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 26(4): 16-35. ISSN: 1993 8012.
- Belaño, J. y Lascano, C. 2022: *Diseño de un sistema SCADA para la adquisición de datos en medición de pérdidas primarias y secundarias en un sistema de flujo*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador. Consultado: 22/02/2023. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9292>.
- Bustamante, M.; Rojas, N. and Quitian, G. 2016: Fine material effect on kaolin suspensions rheology. *DYNA*, 83(195): 105-111. ISSN 2346-2183 Online DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n195.48855>
- Correa, J.; Rojas, N. and Tobón, J. 2018: Effect of fly ash and silica fume on rheology, compressive strength and self-compacting in cement mixtures. *DYNA*, 85(206): 59-68. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.68960>
- Filho, J.; Sinhorelli, K. and Medeiros, G. 2020: Estudo da reologia de pastas cimentícias contendo resíduo de tijolo cerâmico moído e metacaulim. *Revista matéria*, 25(1). ISSN 1517-7076. DOI: [10.1590/S1517-707620200001.0879](https://doi.org/10.1590/S1517-707620200001.0879).
- Garcell, L. 1998: *Transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa*. La Habana: Editorial, Pueblo y Educación.
- Laurencio, H.; Gilbert, A. and Retirado, Y. 2017: Modelado de la viscosidad aparente de un petróleo crudo de 11°API con comportamiento no newtoniano. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 25(4): 674-680. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052017000400674>.
- Laurencio, H.; Retirado, Y.; Bautista, W.; Torres, E. and Albarracín, M. 2020: Caracterización de las propiedades mecánicas de las arcillas para tejas de barro producidas por alfareros de la parroquia la Victoria, cantón Pujilí. *Revista ciencias de la ingeniería y aplicadas*, 4(1): 1-11. ISSN: 2602-8255.
- Leyva, B.; Guillen, Y. y Laurencio, H. 2016: Caracterización reológica de un lodo que se genera en el lavado de árido. *Ingeniería Mecánica*, 19(3): 143-149. ISSN: 1815-944.
- Maron, M. and Martínez, L. 2015: Modelamiento y estudio del efecto de la reología del relave en canaletas. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Martínez, R. and Hernández, G. 2015: Caracterización reológica de pulpas de cieno carbonatado. *Minería y Geología*, 31(4): 70-83. ISSN: 1993 8012.
- Pérez, L.; Cardero, Y.; Lamoth, Y. and Garcell, L. 2008: Estudio del comportamiento reológico de una suspensión industrial de laterita. *Tecnología Química*, 27(1): 22-33. ISSN: 0041-8420
- Spychał, E. 2020: The rheology of cement pastes with the addition of hydrated lime and cellulose ether in comparison with selected properties

of plastering mortars. *Cement-Wapno-Beton= Cement Lime Concrete*, 25(6): 21-30. <https://doi.org/10.32047/CWB.2020.25.1.2>

Zapata, J.; Meza, K.; Vega, A.; Chávez, D.; Alvarado, C.; Alvarado, A. y Vásquez, I. 2022: Ceniza de caña de azúcar: resistencia a la compresión y reología de un hormigón autocompactante. In: 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Hybrid Event, Boca Raton, Florida- USA. ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390. (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.308>

Información adicional

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de autores

HLLA: Redacción de la introducción. Análisis e interpretación de datos mediante reogramas de la hidromezcla. Redacción del documento. Análisis y corrección de los resultados. Redacción de las conclusiones y resumen. YRM: Análisis e interpretación de resultados. Corrección del artículo original. Redacción de las conclusiones. ETT: Revisión bibliográfica. Interpretación de los resultados y corrección del original. Redacción de las conclusiones.

ORCID

HLLA, <https://orcid.org/0000-0003-2688-015X>

YRM, <https://orcid.org/0000-0002-5098-5675>

ETT, <https://orcid.org/0000-0002-7226-7295>

Recibido: 26/06/22

Aceptado: 21/02/2023