

Determinación de la velocidad de deposición del lodo de lavado de áridos transportado por tuberías

Determining deposition velocity of aggregate washing mud transported by pipelines

Benigno Leyva-de la Cruz^{1*}, Marjoris Utria-Jiménez¹, Aylin Laurencio-Olivares¹, Dayanis Alcántara-Borges¹, Héctor Luís Laurencio-Alfonso²

¹ Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

² Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: bleyva@ismm.edu.cu

Resumen

El objetivo fue determinar un modelo matemático para calcular la velocidad de deposición del lodo resultante del lavado de áridos de la Unidad Empresarial de Base del Jobo de Sagua de Tánamo, el cual es transportado por tuberías. Se efectuó muestreo, análisis granulométricos y densimétricos y se utilizó un diseño de experimento factorial completo con cuatro pruebas y dos réplicas cada una. La variable de entrada, porcentaje de sólidos, se estudió a cuatro niveles (4 %, 12 %, 20 % y 28 %). Se determinó que la arcilla contenida en el lodo por su granulometría predominante inferior a 40 μm clasifica como limo. Asimismo, se reveló que la densidad del sólido es 1 901 kg/m^3 . Se compararon los resultados de la velocidad de deposición determinados por medición indirecta y los que se predicen por cálculos utilizando el modelo de Durand, con el objetivo de mejorar la precisión y confiabilidad de este, obteniendo un error relativo de coincidencia inferior al 5%. Se determina una función de corrección que cuantifica la relación entre la velocidad de sedimentación gravitatoria y la velocidad de deposición.

Palabras clave: lodo; árido; velocidad de deposición; velocidad de sedimentación.

Abstract

The objective was to determine a mathematical model to calculate the deposition velocity of the mud resulting from the washing of aggregates from the Jobo Base Business Unit of Sagua de Tánamo, which is transported by pipelines. Sampling, granulometric and densimetric analyzes were carried out

and a complete factorial experiment design with four tests and two replications each was used. The input variable, percentage of solids, was studied at four levels (4%, 12%, 20% and 28%). It was determined that the clay contained in the mud, due to its predominant granulometry of less than 40 μm , classifies as silt. It was also revealed that the density of the solid is 1,901 kg/m³. The results of the deposition velocity determined by indirect measurement and those predicted by calculations using the Durand model were compared, with the aim of improving its precision and reliability, obtaining a relative coincidence error of less than 5%. A correction function is determined that quantifies the relationship between gravitational sedimentation velocity and deposition velocity.

Keywords: mud; arid; deposition velocity; sedimentation velocity.

1. INTRODUCCIÓN

En la Planta Procesadora de Árido del Jobo de Sagua de Tánamo el lodo generado durante el lavado de la arena se transporta por tuberías a gravedad hasta el río o a la laguna de sedimentación. Las obstrucciones frecuentes en el tubo de la descarga obligan a detener el proceso para realizar labores de mantenimiento o utilizar la alternativa de evacuación por canales, lo que acarrea pérdidas económicas y acentúa el impacto ambiental, la erosión del terreno y afecta la flora y la fauna.

La situación expuesta ha llevado a considerar un sistema para el tratamiento del lodo residual, con el objetivo de aumentar la disponibilidad de agua y concentrar el sólido. El aumento de la disponibilidad de agua permite responder a una de las demandas de los sistemas de riego para la agricultura (Tacle y Tacle 2021) y la concentración de los sólidos del lodo favorece su uso como materia prima en la construcción, lo que redundará en beneficios económicos y mitigación del impacto ambiental.

Para aumentar la eficiencia en el funcionamiento del proceso tecnológico de la planta se requiere de la selección del diámetro racional de las tuberías por donde se transporta el lodo y del equipamiento tecnológico a utilizar, tales como bombas, sedimentadores, hidrociclones. Ello conlleva una investigación para determinar la velocidad de sedimentación gravitatoria y la velocidad crítica de transportación (velocidad de deposición).

La velocidad de deposición de sedimentos en tuberías se determina en dependencia del diámetro de la tubería, la densidad y diámetro de las partículas en suspensión, y la concentración de sólido (Abulnaga 2002). No obstante, esta también puede depender de las formas de las partículas y de las interacciones entre ellas.

La velocidad de sedimentación gravitatoria, tal como lo predice la ley de velocidad de Stokes, depende del diámetro de las partículas, la viscosidad y densidad del medio dispersante, y de la densidad del sólido en suspensión. Para el lodo de la referida planta se ha establecido, además, una relación de dependencia entre la velocidad de sedimentación gravitatoria y la concentración de sólidos (Leyva *et al.* 2016). De ahí que el fenómeno de la sedimentación gravitatoria y la deposición de sedimentos en tuberías pueden ser relacionados con diversos fines, al tener ambos parámetros en común.

La sedimentación de partículas en un fluido ha sido utilizada con fines prácticos desde épocas muy remotas; actualmente es de especial relevancia en las industrias de tecnologías de descontaminación, farmacéuticas, de procesos, en la elaboración de revestimientos de todo tipo, de materiales cerámicos de alta resistencia, concentración de suspensiones minerales, entre otras. Un ejemplo ilustrativo es el modelado por deposición fundida, que es una técnica de fabricación aditiva (Cacua, Peña y Ramón 2018); otro ejemplo, en el área de hematología, es la velocidad de sedimentación globular, una prueba que refleja la sedimentación de los glóbulos rojos o eritrocitos de la sangre, provenientes de una muestra de plasma sanguíneo, en un periodo determinado de tiempo, habitualmente una hora (Hernán, Gómez y Ordóñez 2019).

Existen correlaciones matemáticas para estudiar el fenómeno de la deposición basadas en el método teórico del balance de energía turbulenta, el método del análisis dimensional y el método indirecto usando el comportamiento del gradiente hidráulico con la velocidad media del flujo (Del Pilar 2019), no obstante, vale decir que los modelos obtenidos con dichos métodos son semi-empíricos, sustentados en suposiciones teóricas razonables y ajustados a condiciones particulares de flujo por tuberías horizontales. Basado en los métodos aplicados para la deducción de los modelos de velocidad de deposición en tubos horizontales se proponen modelos para la predicción de la deposición en canales abiertos (Gómez, Zambrano y Ordóñez 2019).

La velocidad de deposición y de sedimentación gravitatoria se determinan mediante el empleo de técnica de filmación con cámara fotográfica comercial (Del Pilar 2019; Comini y Zegarra 2019). La técnica de filmación permite medir de forma adecuada la velocidad de caída en una faja de diámetros de sedimentos (Comini y Zegarra 2019). La ecuación para la determinación de la velocidad de sedimentación gravitatoria que considera el diámetro, factores de forma y redondez de las partículas es la que muestra los mejores desempeños (Comini y Zegarra 2019).

Se dispone de herramientas gráficas de diseño tales como curvas para determinar directamente, sin necesidad de utilizar procedimientos numéricos, la pendiente de autolimpieza en tuberías de alcantarillado sanitario de

pequeño diámetro tanto por el criterio de velocidad mínima como por el de tensión de corte mínima (Theis, Hooker y Campetella 2021).

Las técnicas de modelado y simulación descriptivas detectan, de manera efectiva, la deposición de arena en tiempo real en tuberías con flujo multifásico. Los eventos de deposición de arena se detectan y confirman al poder comparar la pérdida de presión que está sucediendo en el sistema desde un punto de vista teórico y al comparar la simulación con la presión en vivo que está sucediendo en la tubería (Castro y La Motta 2020).

Para el adecuado uso de los métodos fundamentados en la medición del fenómeno de la sedimentación se requiere de comprensión del estudio y sus limitaciones (Rivera y Vargas 2022). Asimismo, se debe tener en cuenta que los resultados además de ser confiables, deben darse en el menor tiempo posible para garantizar la calidad (Prieto *et al.* 2022).

Al tratar la situación problemática que se presenta en un sistema que involucra procesos de sedimentación se considera, entre los factores que más comúnmente están presentes, la mala operación por el no cumplimiento de las especificaciones de diseño (Menéndez 2022).

El presente estudio tuvo el objetivo de establecer un modelo matemático para determinar la velocidad de deposición del lodo del lavado de áridos, para el transporte por tuberías en la UEB del Jobo de Sagua de Tánamo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Origen de las muestras

Se aplicó un muestreo probabilístico (Rodríguez, Machado y Villamarin 2019). Se tomaron muestras de lodo del tubo de descarga del proceso tecnológico de la planta procesadora de árido del Jobo de Sagua de Tánamo durante tres días laborables en diferentes horarios y muestras de arcilla tomadas en el área de sedimentación, de acuerdo con la norma cubana NC 37:1999.

Se realizaron tres tomas de muestras de lodos por día en diferentes horarios, recolectando un litro en cada toma. Se determinaron cuatro puntos a muestrear para la muestra de arcilla, a partir de la aplicación de la norma cubana NC 37:1999 (Oficina Nacional de Normalización 1999). El peso de la muestra para la determinación de las propiedades de la arcilla nunca fue menor de un kilogramo, y su volumen no mayor de 100 cm³. Por otra parte, se dividió el área en cuatro cuadrantes iguales, se escogieron 500 kg de cada cuadrante para obtener una muestra de 2 000 kg.

2.2. Granulometría del sólido

Para determinar la granulometría del sólido, una muestra se sometió a prueba con un analizador de partículas compacto 22 (*Analysette 22 Compact*). Dicho analizador posee un rango de medición de 0,3 μm a 300 μm y puede utilizarse como alternativo al tamizado por la vía húmeda (Leyva *et al.* 2016).

2.3. Densidad y porcentaje de sólido

La densidad de la arcilla se determinó por el método del picnómetro, utilizando un juego de estos de 25 mL, una pipeta de 25 mL, una balanza digital con precisión $\pm 0,0001$ g y una estufa de temperatura hasta 120 °C. La densidad del lodo se determinó por el método volumétrico, dividiendo la masa de lodo entre el correspondiente volumen. También se utilizó el densímetro tipo DT 301 que está conectado al tanque de la instalación. Con los datos obtenidos de la densidad de la arcilla y del lodo se calculó el porcentaje de sólido (Leyva *et al.* 2016).

2.4. Características de la sedimentación del lodo

Se trabajó con los valores conocidos de la velocidad de sedimentación correspondiente para la fase de caída libre y caída contrariada del lodo de la Unidad Empresarial de Base de Sagua de Tánamo (Tabla 1), para los porcentajes en peso de 4 %, 12 %, 20 % y 28 % (Leyva *et al.* 2016).

Tabla 1. Velocidad de sedimentación del lodo de la UEB del Jobo de Sagua de Tánamo

| Porcentaje de sólido | | 4 % | 12 % | 20 % | 28 % |
|----------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|------|
| Velocidad de sedimentación, cm/h | Caída libre | 84,12 | 71,73 | 16,93 | 8,23 |
| | Caída contrariada | 0,23 | 0,39 | 0,86 | 0,74 |

2.5. Características de la instalación industrial

El árido es suministrado, a través de camiones, a la planta de beneficio donde se somete a un proceso de trituración, clasificación y lavado. Para el lavado de los materiales se emplea una bomba que extrae agua de un pozo localizado en la instalación. Para aumentar la eficiencia de la instalación se ha proyectado un sistema de sedimentación (García, Leyva y Laurencio 2014) que posee las características de operación siguientes:

- gasto de lodo de alimentación (Q_0), 75 m^3/h ;
- concentración inicial del lodo (C_0), 41 g/L;
- concentración final del lodo (C_f), 298 g/L;

- gasto de agua de reboso (Q_r), 64,68 m³/h;
- gasto de lodo espesado (Q_f), 10,32 m³/h;
- porcentaje de sólidos (S) a la entrada y a la salida del sedimentador, 4 % y 26 %, respectivamente

2.6. Características de la instalación experimental

La instalación, que se muestra en la Figura 1, cuenta de un tanque con un volumen de 5,187 m³, un agitador, una moto bomba centrífuga μ G 126/25, un motor reductor, tres tuberías de DN 75, DN 100 y DN 150, varios codos y válvulas. Además, con instrumentación de control y medición actualizados, tal como el sensor de presión de tipo D-76181 Karlsruhe, el flujómetro modelo OPTIFLUX 4300 C CG 30011100, el densímetro tipo DT 301, y un tubo de vidrio donde se visualiza el flujo. Las mediciones llegan a un autómata programable Simatic S7 300, donde se visualizan y registran por medio de un Software de Scada Citect.



Figura 1. Instalación experimental.

2.7. Diseño del experimento

La velocidad crítica de deposición del lodo residual producto del lavado de áridos se determinó mediante un diseño de experimento factorial completo. La variable de entrada considerada fue el porcentaje de sólidos (S) a cuatro niveles (4 %, 12 %, 20 % y 28 %).

2.7.1. Selección de la variable de entrada y sus niveles

La selección de la variable (S) y sus niveles se fundamentó en consideraciones prácticas y teóricas. Los criterios de la práctica están referidos a las necesidades del proceso tecnológico de la planta de beneficio y a las condiciones para la experimentación de que se dispone en la instalación semi-industrial; las teóricas, a los resultados de estudios previos con el lodo objeto de estudio (Leyva *et al.* 2016) que revelan la dependencia de la velocidad de

sedimentación gravitatoria del porcentaje de sólido a los cuatro niveles antes referidos.

2.7.2. Caracterización de la variable de salida

La variable de salida en este diseño de experimento es la velocidad de deposición, que se determinó por la ecuación (1).

$$Vd = \frac{Q_{Crítico}^4}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Donde, Vd es la velocidad de deposición en m/s, $Q_{Crítico}$ es el flujo volumétrico crítico en m³/h, y D es el diámetro interior del tubo, en m. El diámetro interior del tubo de cristal es de 0,08 m.

El flujo volumétrico se midió por medio del flujómetro modelo OPTIFLUX 4300 C CG 30011100, para cada porcentaje de sólido en el momento que inicia la deposición de sólido en la parte inferior del tubo de cristal colocado para tal fin en la instalación.

Se compararon los resultados de la velocidad de deposición obtenida experimentalmente con los que se predicen utilizando el modelo de Duran (Abulnaga 2002), con base en el criterio del error relativo. El objetivo de tal análisis fue verificar la validez del modelo de cálculo propuesto por Durand o identificar el área de mejora. Se determinó una función de corrección.

2.7.3. Matriz de planificación del experimento

En total para el desarrollo de los experimentos de velocidad de deposición en el transporte de lodo se efectuaron 12 pruebas, cuatro experimentos y dos réplicas por cada uno.

2.8. Modelo de la velocidad crítica de transportación

Para el análisis comparativo de los resultados de las mediciones de la velocidad de deposición se tomó como base el gráfico del factor de Durand (Figura 2) y el modelo representado en la ecuación (2) (Abulnaga 2002).

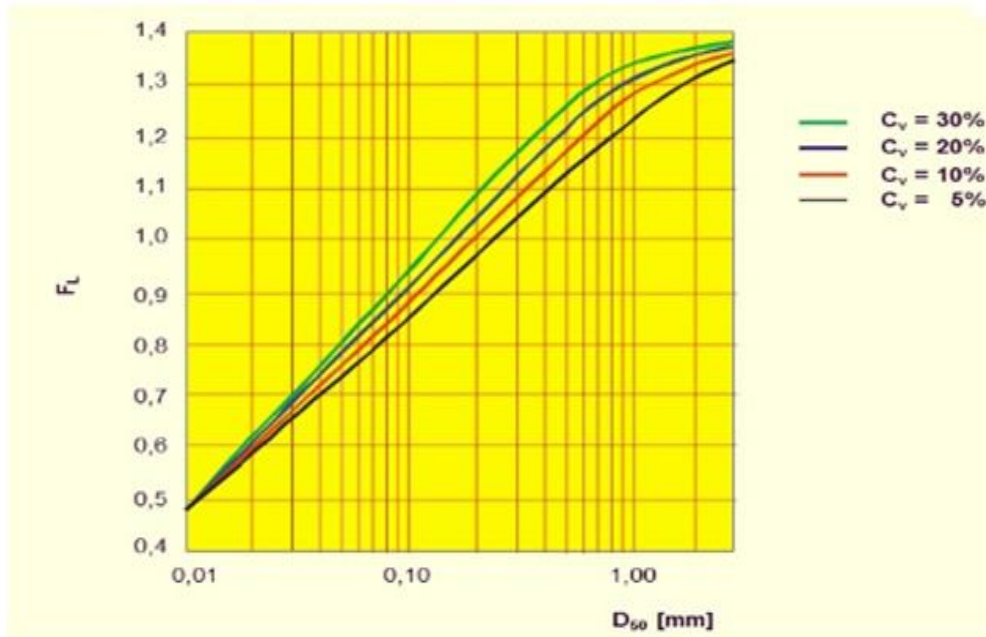


Figura 2. Gráfico del factor de Durand F_L (Tomado de: Abulnaga 2002).

$$Vd = F_L \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D \cdot (\rho_s - 1)} \quad (2)$$

Donde, F_L es el factor de Durand que se determina en la Figura 2; g es la aceleración de un cuerpo de caída libre en m/s^2 ; ρ_s es la densidad del sólido en g/cm^3 .

2.9 Elaboración del resultado de las mediciones

Se utilizó el muestreo aleatorio simple, aplicando la expresión de cálculo recomendadas en Miller, John y Jonson (2005). Se establecieron los límites de tolerancia y se eliminaron -por considerarse como anormales- todos los valores que quedaron fuera del intervalo establecido. El ajuste de curva por regresión se basó en el método de mínimo cuadrado; la bondad del ajuste realizada con tal método se verificó utilizando cuatro criterios: a) coeficiente de determinación, b) de Student, c) de Fischer, y d) los residuos. La determinación del error relativo se adoptó como criterio de validez cuando se aplica el procedimiento utilizado y los que son tomados como referencias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Granulometría

Los resultados con el analizador de partículas 22 se muestran en la Figura 3. Como puede apreciarse el 80 % de la muestra presenta un diámetro inferior a 0,039. Este tamaño de partículas permite clasificar a la arcilla en la categoría de limo, según norma ASTM D 422 -63(2007).

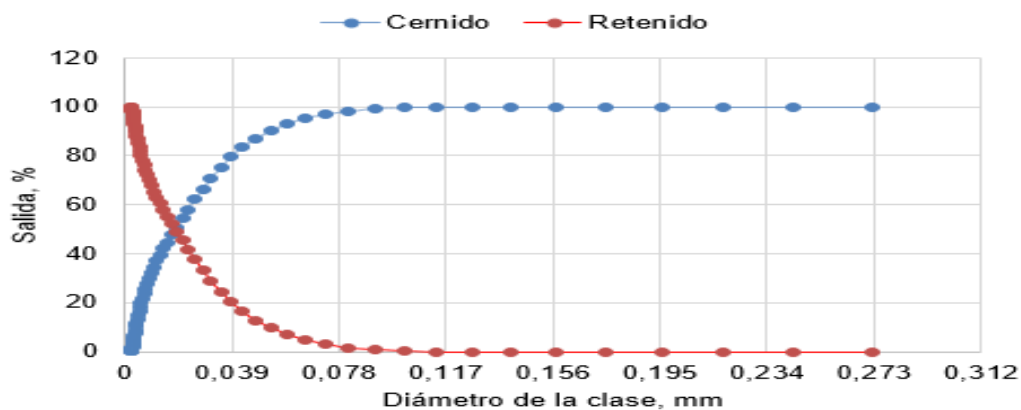


Figura 3. Curva de características sumarias de la muestra analizada, con analizador de partículas compacto 22.

3.2. Densidad del sólido y del lodo y porcentaje de sólido

Existe una probabilidad del 95 % de que si se realizan las mediciones de la densidad del sólido bajo condiciones similares a las que existieron en este trabajo el resultado se obtenga en el rango de $1,871 \text{ g/cm}^3$ a $1,930 \text{ g/cm}^3$, con valor para la media aritmética normal de $1,901 \text{ g/cm}^3$. Los resultados mostrados en la Tabla 2 indican el rango de variación admitido de la densidad del lodo para que el proceso de medición esté bajo control estadístico. Se observó que al repetir el experimento no se mostraron valores anómalos, al nivel de confianza del 95 %.

Tabla 2. Densidad del lodo para cada porcentaje de sólido analizado

| Densidad media del lodo (g/cm^3) | Límite de tolerancia (g/cm^3) | Contenido de sólido (%) | Concentración de sólido en volumen (%) |
|---|--|-------------------------|--|
| 1,018 | 1,033 a 1,003 | 4 | 2 |
| 1,069 | 1,092 a 1,046 | 12 | 6 |
| 1,118 | 1,186 a 1,050 | 20 | 11 |
| 1,155 | 1,209 a 1,102 | 28 | 16 |

3.3. Comportamiento de la velocidad de deposición

La Figura 4 muestra los resultados del comportamiento de la velocidad de deposición en la instalación experimental y la obtenida por cálculo. Los valores del factor de Durand determinados a partir de la Figura 2, realizando interpolaciones y extrapolaciones lineales, son los siguientes: 0,56; 0,59; 0,60 y 0,61 para 4 %, 12 %, 20 % y 28 % de sólido, respectivamente. Según el criterio del error relativo, el error promedio es inferior al 5 %.

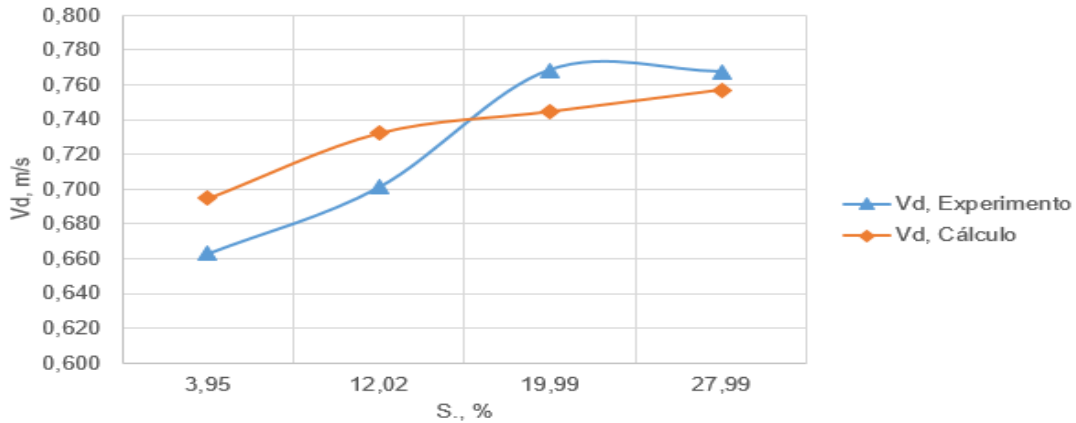


Figura 4. Comportamiento de la velocidad de deposición experimental y la calculada, en función del porcentaje de sólidos.

Se determina que la ecuación 2 puede ser utilizada con el gráfico de la Figura 2 para determinar la velocidad de deposición del lodo objeto de estudio en el rango de 4 a 28 de porcentaje de sólidos, y diámetro de las partículas en suspensión (d_{50}) igual a $20 \mu\text{m}$. No obstante, se considera razonable realizar una corrección a la ecuación 2, atendiendo a los siguientes criterios: en el gráfico de la Figura 2 no se muestran los valores del factor de Durand para las concentraciones de sólido utilizadas en este diseño de experimento; el Factor de Durand (F_L) es dependiente de la granulometría y la concentración de sólidos; y es posible integrar los factores de los que depende el factor de Durand en el parámetro velocidad de sedimentación gravitatoria, ya que esta depende de la granulometría y la concentración de sólidos (Leyva *et al.* 2016).

3.4. Ajuste de curvas

Se ajustan los valores de velocidad de sedimentación gravitatoria correspondiente a la fase de sedimentación contrariada (V_{sc}) con el factor de corrección por considerarse que esta refleja en mayor medida la física del fenómeno de deposición de partículas durante la traspotación.

El factor de corrección F_c puede calcularse por medio del modelo empírico lineal que se muestra en la ecuación (3), el cual es significativo, ya que el coeficiente de correlación es igual a 98,4 %; el Fischer calculado es mayor que el crítico ($62,17 > 0,016$), las probabilidades para los coeficientes 0,1402 y 0,5063 son 0,00046 y 0,016, respectivamente. Además, el estadístico de Durbin-Watson (DW) que examina los residuos indica que no hay autocorrelación serial.

$$F_c = 0,1402 \cdot V_{sc} + 0,5063 \quad (3)$$

Por lo antes planteado se establece que el modelo para la determinación de la velocidad de deposición del lodo del lavado de áridos de la UEB del Jobo de Sagua de Tánamo, puede escribirse según la expresión 4:

$$Vd = Fc \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D(\rho_s - 1)} \quad (4)$$

4. CONCLUSIONES

- El lodo del lavado de árido de la UEB del Jobo está compuesto por partículas de limo, atendiendo a que el 80 % de ellas tiene un diámetro inferior a 0,039 mm, y la densidad del sólido es de 1,901 g/cm³. Queda determinado el valor de densidad del lodo para cada porcentaje de sólido analizado: 4 % (1,018 g/cm³); 12 % (1,069 g/cm³); 20 % (1,118 g/cm³) y 28 % (1,155 g/cm³).
- El error relativo entre las velocidades de deposición calculada y medida es inferior a 5 % en el rango de experimentación analizado.
- Se establece una función de corrección (ecuación 3) que cuantifica la relación entre la velocidad de sedimentación gravitatoria y la velocidad de deposición.
- El modelo para determinar la velocidad de deposición del lodo en las tuberías de evacuación de la planta de árido del Jobo queda expresado como: $Vd = Fc \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot D(\rho_s - 1)}$

5. REFERENCIAS

- Abulnaga, B. 2002: *Slurry Systems Handbook*. New York: Editorial, McGraw-Hill. <https://www.amazon.com>
- ASTM D22-63. 2007: Standard test method for particle-size analysis of soils, ASTM international, west Conshohocken, PA. <https://WWW.astm.org>
- Cacua, H.; Peña, C. N. y Ramón, B. 2018: Efecto de la velocidad de deposición en impresiones 3d sobre las propiedades mecánicas del poliácido láctico. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 3(32): 31-35. ISSN: 1692-7257. <https://ojs.unipamplona.edu.cu>
- Castro, F. N. y La Motta, E. 2020: Herramientas gráficas de diseño para determinar la pendiente mínima de auto limpieza en tuberías de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro. *Ingeniería del Agua*, 24(1): 49-63. <https://iwaponline.com>
- Comini, B. N. y Zegarra, J. 2019: Determinación experimental de la velocidad de caída de sedimentos no cohesivos. *Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2): 236-247.
- Del Pilar, M. 2019: Velocidad de sedimentación globular: métodos y utilidad clínica. *Comunidad y Salud*, 17(2). ISSN: 1690-3293.

- García, E.; Leyva, B. N. y Laurencio, H. 2014: Sistema de sedimentación para la recuperación de aguas residuales del proceso de lavado de áridos en la UEB del Jobo. *Ciencia y Futuro*, 4(4): 22-41.
- Gómez, H.; Zambrano, I. N. y Ordóñez, I. 2019: Hidrotransporte de sedimentos en tubos horizontales a presión: Estudio de la velocidad crítica de depositación. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. <https://www.researchgate.net/publication/3361966849>
- Hernán, J.; Gómez, I. N. y Ordóñez, I. 2019: Velocidad crítica de deposición en el transporte de sedimentos en canales abiertos. XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. <https://www.researchgate.net/publication/>
- Leyva, B.; Cruz, A.; Guillen, Y.; Suárez, D.; Martínez, R. N. e Izquierdo, R. 2016: Influencia de la concentración de sólido en la velocidad de sedimentación de lodo de la industria de áridos. *Minería y Geología*, 32(4): 17-32. ISSN: 1993 8012. <https://revista.ismm.edu.cu>
- Menéndez, C. 2022: La sedimentación secundaria en los tratamientos biológicos de aguas residuales. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(3): 24-33. <https://scielo.sld.cu>
- Miller, R.; John, E. y Jonson, R. 2005: *Probabilidad y estadística para Ingeniero*. La Habana: Félix Varela. P. 25-30.
- NC 37. 1999: Muestreo de suelos. Requisitos generales. La Habana, Cuba. Oficina Nacional de Normalización. <https://ftp.isdi.co.cu>
- Prieto, N.; Nuevo, Y.; Zayas, A. N. y Verdasquera, D. 2022: Velocidad de Sedimentación Globular en el método Westergren con citrato de sódico y ácido etilendiaminotetracético. *Revista Electrónica Medimay*, 29(2): 151-158. ISSN: 2520-9078.
- Rivera, Y. N. y Vargas, E. 2022: Velocidad de eritrosedimentación: Revisión bibliográfica. *Ciencia y Salud*, 6(3): 43-50.
- Rodríguez, M.; Machado, W. N. y Villamarin, A. 2019: Muestreo para el control de la calidad en el proceso de elaboración de envases metálicos para alimentos. *Revista Ingeniería, investigación y tecnología*, 20(2). ISSN: 25940732.
- Tacle, P. N. y Tacle, C. 2021: Diseño de una metodología para análisis de flujo de una tubería de conducción para riego. *Revista Ciencias Técnicas y Aplicadas*, 7(6): 99-114. ISSN: 2477-8818.
- Theis, D.; Hooker, J. y Campetella, B. 2021: Predicción de deposición de arena en tiempo real en flujo multifásico. *Petrotecnia*, 3: 28-33.

Información adicional**Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

BLD: diseño, realización de los experimentos, procesamientos, interpretación de los resultados y redacción. ALO: lectura y comentario del manuscrito. HLLA: conceptualización e interpretación de los resultados. MUJ: corrección de la ortografía y estilo. DAB, gestión de las referencias. Aprobación de la versión final.

ORCID

BLD, <https://orcid.org/0009-0004-9080-1406>

MUJ, <https://orcid.org/0000-0002-1530-9452>

ALO, <https://orcid.org/0009-0009-3019-6810>

DAB, <https://orcid.org/0009-0008-9836-1387>

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

Recibido: 01/03/2024

Aceptado: 18/03/2024