

Una vía de procesamiento del caolín para la obtención de la fracción útil caolinita enriquecida



Obtaining of the useful fraction of kaolin (kaolinite) for the study of their prosecution

<https://cu-id.com/2144/v14e07>

✉ Milena Ramos Donatien*, ✉ Alejandra Naida Hernández Martínez, ✉ Giselle Valdivia García

RESUMEN : En el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) se ejecuta un proyecto para actualizar y corroborar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores, para implementar procesos de tratamiento de caolín del yacimiento Santa Elena en la Isla de la Juventud para obtener productos de alto valor agregado (AVA). El trabajo tiene como objetivo evaluar a escala de laboratorio la factibilidad técnica de separar la fracción caolinitica del caolín mediante el proceso de levigación con el equipamiento disponible en el (CIPIMM). Se presenta un estudio mineralógico y de fases de la muestra de caolín suministrada, para definir la composición de fases del mineral objeto de estudio. Se realizaron corridas experimentales en un elutriador a escala laboratorio, y para ello, se determinó la velocidad de la corriente de agua para garantizar la eficiente separación de la fracción caolinitica, el flujo de alimentación de mineral, el diámetro de partícula de corte, así como el rendimiento de la operación. Se concluye con la corroboración de los resultados obtenidos y actualización de su procesamiento para a partir de ello definir el equipamiento adecuado y las condiciones de operación para la evaluación económica con vistas a la inversión para la implementación industrial a corto plazo.

Palabras Clave: Caolinita, elutriador, caolín, procesamiento.

ABSTRACT: In the Research Center for the Metallurgical Mining Industry (CIPIMM), a project is carried out to update and corroborate the results obtained in previous investigations, to implement kaolin treatment processes of the Santa Elena deposit in the Isla de la Juventud to obtain high quality products added value (AVA). The objective of the work is to evaluate at a laboratory scale the technical feasibility of separating the kaolinitic fraction from the kaolin through the levigation process with the equipment available in the (CIPIMM). A mineralogical and phase study of the supplied kaolin sample is presented to define the phase composition of the mineral under study. Experimental runs were performed in an elutriator at a laboratory scale, and for this, the speed of the water stream was determined to guarantee the efficient separation of the kaolinitic fraction, the mineral feed flow, the cut particle diameter, as well as the performance of the operation. It concludes with the corroboration of the obtained results and update of its processing to define the appropriate equipment and operating conditions for the economic evaluation with a view to the investment for the industrial implementation in the short term.

Keywords: Kaolinite, elutriador, kaolin, processing.

INTRODUCCIÓN

El caolín es un mineral industrial constituido por la caolinita, que es un silicato de aluminio hidratado muy fino, producto de la descomposición de rocas feldespáticas principalmente, que constituye su componente útil, y otros minerales que forman parte de la ganga o limo.

Su procesamiento consiste en la levigación que es un método de beneficio en el que se concentra la fracción caolinitica por clasificación de tamaño y densidad.

Los métodos gravimétricos se usan para clasificar y separar una gran diversidad de minerales. Una de las técnicas de separación gravimétrica más usada es la

clasificación diferencial, también conocida como elutriación. Esta puede llevarse a cabo vía húmeda o seca, dependiendo del tipo de fluido, siendo el método húmedo la técnica más sencilla y de menor complejidad. Tal procedimiento se basa en las diferencias de velocidades de sedimentación adquiridas por las partículas sólidas al viajar a través de un fluido en movimiento. El elutriador es el equipo en el cual se lleva a cabo esta operación, consiste en un cilindro largo con fondo cónico, provisto de una entrada de fluido en la parte inferior para generar un flujo ascendente, un matraz en el fondo para recuperar las fracciones pesadas y una descarga en la parte superior, por donde se recupera la fracción más fina de la muestra (Osorio, A. 2009).

Recibido: 07/12/2021

Aprobado en su forma original: 06/09/2022

Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Cuba, Carretera Varona, No. 12028 Km 1½, Boyeros, La Habana

*Correo Electrónico: milena@cipimm.minem.cu

En Cuba, históricamente, el caolín ha sido explotado y procesado mayormente por la industria de los materiales de la construcción, principalmente en la Isla de la Juventud, territorio donde se localizan recursos significativos de este mineral y las mejores calidades. El caolín levigado se ha demandado históricamente en las empresas cubanas del papel, el cemento, la goma, la cerámica y los refractarios, la mayoría descapitalizadas a partir del Período Especial, y con tendencia a la recuperación en la actualidad.

Hoy en día, el país tiene la visión de seguir trabajando en base al desarrollo económico-social aprovechando los recursos naturales con que cuenta para producir productos de alto valor agregado. De ahí, que este territorio por sus condiciones, sea un sitio promisorio del país, para enfrentar el plan inversionista con vistas a la satisfacción del mercado nacional y como posible fuente de exportación. El yacimiento más importante hasta el momento es Río del Callejón, y en un futuro no lejano, lo será también Santa Elena.

En el Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) se ejecuta un proyecto para actualizar y corroborar los resultados obtenidos en investigaciones anteriores, actualizar el mercado y el estudio económico (ETE) para implementar los procesos de tratamiento de caolín del yacimiento Santa Elena en la Isla de la Juventud para obtener productos de alto valor agregado (AVA). Los productos obtenidos serán desarrollados y comercializados por la Empresa Geominera Isla de la Juventud, empresa que financió la ejecución del proyecto de un año de duración para cumplimentar los objetivos propuestos y para ello, suministró una muestra de caolín crudo de 1t de peso. Para realizar el trabajo fue necesario obtener una muestra levigada de caolín para realizar los estudios de corroboración y actualización de su procesamiento.

Por lo tanto, objetivo del trabajo es evaluar a escala de laboratorio la factibilidad técnica de separar la fracción caolinitica del caolín mediante el proceso de levigación con el equipamiento disponible en el CIPIMM, en este caso un elutriador, y a partir de ello definir el equipamiento adecuado y las condiciones de operación para la evaluación económica con vistas a la inversión para la implementación industrial a corto plazo, dado que en la actualidad las instalaciones de la empresa Geominera Isla carece de condiciones para realizar la levigación del caolín.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de las pruebas a escala de laboratorio se utilizó:

Materiales empleados

- Se utilizó como materia prima una muestra de caolín del yacimiento Santa Elena de la Isla de la Juventud.
- Agua industrial.

Equipos

- Elutriador para la separación de partículas muy finas del orden de los 0.020 - 0.040 mm.
- Balanza analítica para pesar la cantidad de muestra a separar, antes y después de la separación.
- Estufa programable para secar la muestra separada.
- Analizador de distribución del tamaño de partículas de desparramamiento del láser.

Preparación de la muestra

La muestra suministrada presentaba aglomeraciones del mineral producto de la humedad, estas fueron destruidas con un mazo de madera y posteriormente fueron reducidas mediante homogenización y cuarteo para obtener las muestras de cabeza para caracterización y las del trabajo. El esquema de preparación se presenta en la figura 1.

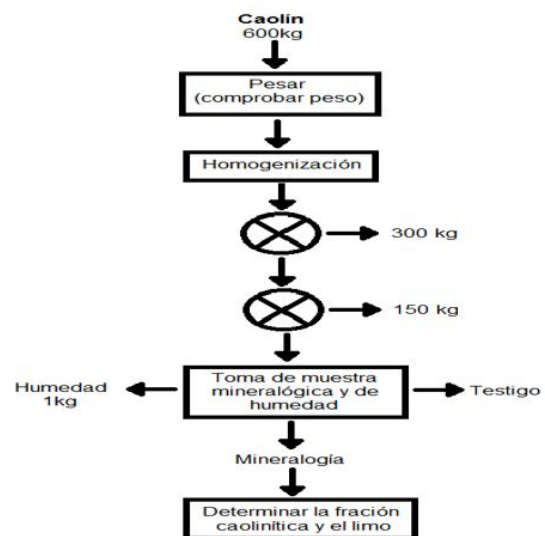


Figura 1. Esquema de preparación y procesamiento de la muestra de caolín.

Caracterización del caolín y productos del beneficio

La caracterización se realizó mediante análisis químico, granulométrico, mineralógico y de fases de las muestras de caolín crudo y de los productos de beneficio. Los resultados fueron tomados de (Cabrera I., Toledo C. y otros, 2018).

Tabla 1. Composición química del caolín crudo del yacimiento Santa Elena.

Muestra	Componentes químicos (%)								
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P.P.I
Caolín crudo	21,85	46,4	3,69	0,26	0,026	0,28	0,052	0,031	6,90

Análisis químico

La composición química de la muestra de caolín crudo se presenta en la [tabla 1](#).

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se realizó por vía húmeda utilizando 3 tamices: 0.074 mm, 0.063 mm y 0.044 mm. En la [tabla II](#) se muestran los resultados del mismo.

Características químicas por ICP

Los resultados de la caracterización química se pueden ver en la [tabla 3](#).

Análisis mineralógico

El estudio mineralógico se realizó empleando varias técnicas complementarias: microscopía óptica (MO), Análisis térmico diferencial (ATD) y microscopía electrónica de barrido (MEB). En el microscopio óptico se realizó para determinar las principales fases portadoras de impurezas a la fracción +0.074 mm en la cual se concentra el limo y los resultados se presentan en la [tabla 4](#).

En este estudio se distingue que existe un predominio de cuarzo, caolinita, mica y óxido de hierro, en la [figura 2](#) se observan las fases identificadas en la fracción en una vista general de la fracción.

Resultados del estudio por MEB

Para determinar de forma semi-cuantitativa los principales componentes de la muestra, porciones de la misma se sometieron a análisis de espectrometría de rayos X. Los resultados obtenidos se muestran en la [Tabla 5](#).

Como se observa en la [Tabla 5](#), el contenido de oxígeno detectado es relativamente alto, lo que indica, si se tiene en cuenta el aporte de oxígeno que podrían tener los elementos restantes en la muestra, que esta puede tener algún grado de hidratación y/o de presencia de hidróxido. Los contenidos de potasio, calcio, titanio y oxígeno son indicativos de la existencia de impurezas que aportan dichos elementos.

Con vistas a determinar los minerales presentes en el caolín, una porción del mismo se sometió a observación y análisis mediante la realización de determinaciones puntuales dirigidas a los diferentes

Tabla 2. Resultados del análisis granulométrico (%)

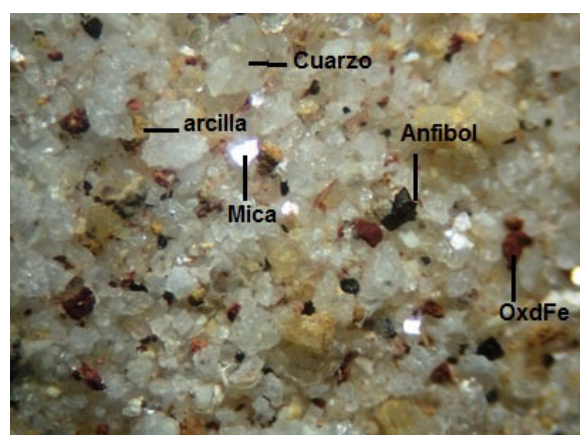
Fracción granulométrica (mm)	% en Peso
-1 + 0.074	49.1
-0,074 + 0.063	3.44
-0,063 + 0.044	7.54
-0.044	39.92
Cabeza	100,0

Tabla 3. Caracterización química de las fracciones en %

Fracción mm	Al ₂ O ₃	K	Si	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
-0.074 + 0.063	18.42	0.73	43.88	7.29	0.38
-0.063 + 0.044	22.43	0.83	39.50	7.38	0.43
-0.044	39.08	0.58	28.68	6.58	0.26

Tabla 4. Composición mineralógica de la fracción +0.074 mm de Caolín (%)

Minerales	F+0.074 mm
Mica	20
Óxido de Fe	15
Cuarzo	35
Anfibol	5
Disteno	3
Caolinita	22
Total	100

**Figura 2.** Vista general de la fracción +0.074 mm**Tabla 5.** Composición química general por MEB del caolín cabeza

Muestra	O	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe
Caolín cabeza	58.84	17.82	20.1	0.64	0.2	0.21	2.18

tipos de partículas que conforman la muestra. Como resultado de este trabajo se comprobó el predominio de la caolinita, la cual porta cantidades apreciables de potasio, así como la presencia de partículas de cuarzo, anhidrita, rutilo y hematita, lo cual está en concordancia con la composición química obtenida. El potasio fue detectado fundamentalmente en asociación con la caolinita. Partiendo de los resultados obtenidos, se procedió a realizar una estimación de la composición mineralógica de la muestra, el resultado obtenido se muestra en la **Tabla 6**.

Análisis térmico diferencial

Mediante la aplicación de las técnicas ADT, TG y D1TG se obtuvieron los termogramas de la muestra de caolín crudo (cabeza) y de las fracciones correspondientes a $-0.074+0.063$ mm, $-0.063+0.044$ mm y -0.044 mm. En el termograma de la muestra cabeza se identifican solo 2 fases, un primer endoeffecto a 295°C característico de la fase Goethita con un 3% de pérdida de masa producida por la deshidroxilación que ocurre en la misma, también figura a 511°C el efecto endotérmico propio de la deshidroxilación de la caolinita, quedando por resultado la presencia de la forma amorfa metacaolinita con un 39% de pérdida de masa de la fase Caolinita, y manifestando a 994°C un pico exotérmico característico de la recristalización de esta forma amorfa a la fase Mullita, notorio en todos los termogramas analizados. Ver la **figura 3**.

Los termogramas de las fracciones finas de la muestra estudiada, denotan cualitativamente la existencia de las fases antes descritas en la muestra cabeza, no siendo así en la determinación cuantitativa ya que se distingue (mientras más fina es la fracción) el aumento de pérdida de masa de ambas fases, siendo de mayor cuantía la pérdida de masa asociada a la fase caolinita que en el termograma de la fracción -0.044 mm llega ser de 13% correspondiente a un 85% de caolinita. Ver imágenes 4, 5 y 6.

En la **figura 7** se presenta la variación de los contenidos de fases (caolinita y goethita respectivamente) obtenidos en las curvas TG que se exhiben en los termogramas analizados anteriormente. Se observa un incremento del contenido de caolinita con la finesa del mineral y el predominio de esta fase, destacándose con un 85% la fracción -0.044 mm.

Metodología empleada para la levigación

En el proceso de levigación para los experimentos se utilizaron 100 g de mineral, para obtener los productos con granulometría de 0.010, 0.020, 0.044, 0.063 y 0.074mm. Los parámetros de operación fueron:

Tabla 6. Composición mineralógica general por MEB del Caolín

Componente	Fórmula química	% mineral
anhidrita	CaSO_4	0.77
caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	87.5
cuarzo	SiO_2	4.95
hematita	Fe_2O_3	3.38
rutilo	TiO_2	0.38
Óxido de potasio	K_2O	0.77
agua/hidróxido	$\text{H}_2\text{O}/(\text{OH})$	2.75

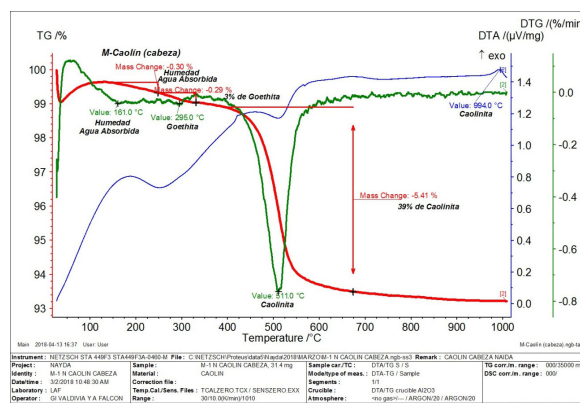


Figura 3. Termograma ATD - TG - D1TG de la muestra de cabeza “CAOLÍN”

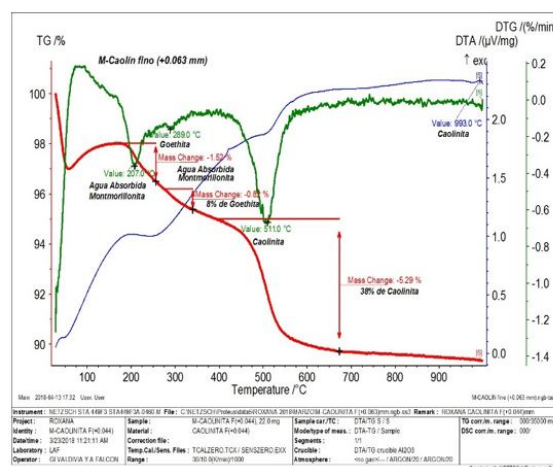


Figura 4. Termograma ATD - TG - D1TG de la fracción $(-0.074+0.063$ mm)

- Diámetro de la partícula
- Velocidad de caída
- Flujo de agua
- Tiempo de llenado de la probeta

A continuación, en la **figura 8** se muestra el elutriador donde se realizó la prueba.

Determinación de las velocidades de caída

Para las partículas dentro del rango de las fracciones analizadas la velocidad de caída se determinó por la Ley de Stokes (1), que establece la

velocidad de caída libre de las partículas cayendo bajo la influencia de la gravedad.

$$V = \frac{d^2 g (\rho_s - \rho_f)}{18\mu}$$

Dónde: V = Velocidad de caída libre (cm/seg.); d = diámetro de partícula (cm); g = aceleración debido a la gravedad (cm/seg²); ρ_s = Densidad de la partícula (g/cc); ρ_f = Densidad del fluido (g/cc); μ = Viscosidad del fluido (poise).

Pruebas en el elutriador

Las pruebas en el elutriador se realizaron con cinco muestras de caolín crudo según la metodología de trabajo. En la [tabla 7](#) se muestran las condiciones de operación en que se realizó la prueba.

En la [figura 9](#) se muestran las velocidades obtenidas para cada diámetro de partícula, donde el Eje x representa el diámetro de partícula (mm) y el Eje y la Velocidad de caída (cm/s).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de caolinita obtenidas fueron pesadas y analizadas mediante ATD para determinar el porcentaje de caolinita en cada una de ellas. Además, se examinó en el analizador de partículas si el tamaño promedio de cada muestra obtenida estaba en el orden de las 0.010 - 0.020 mm, donde debe concentrarse la caolinita según estudios anteriores.

Resultado de la prueba en el elutriador

Resultados del estudio por analisis termico diferencial

Como se puede observar en los termogramas de las muestras obtenidas en el elutriador correspondientes a los -0.010 y -0.020 mm respectivamente, existe menor pérdida de masa asociada a la caolinita que en el termograma de la fracción -0.044 mm obtenida por tamizaje, donde el contenido de ésta llega a ser de 85%, observándose lógicamente un menor porcentaje de la fase caolinita (70%) en la fracción -0.020 mm, resultado que conduce a que el elutriador no operó con la máxima eficiencia, ya que en la fracción -0.020 mm debía haber igual o mayor contenido de caolinita.

Análisis de los resultados en el analizador de partículas

En el análisis microgranulométrico realizado a la muestra de cabeza en el analizador de partículas, se obtuvo el 86% en peso de la fracción -0,020 mm de, mientras que el rendimiento en peso reportado en la prueba de elutriación de esa fracción fue 72,2%, lo cual indica una eficiencia de 84% en la operación de elutriación. De acuerdo con estos resultados para

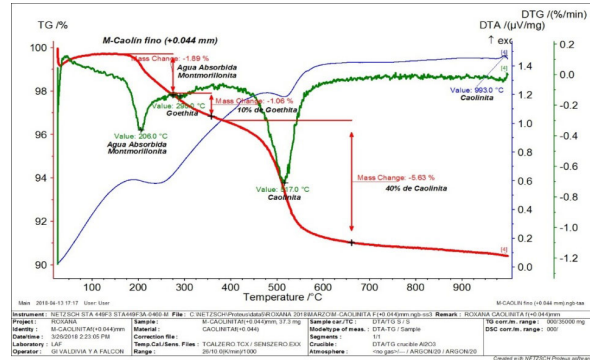


Figura 5. Termograma ATD - TG - DITG de la fracción (-0.063+0.044 mm)

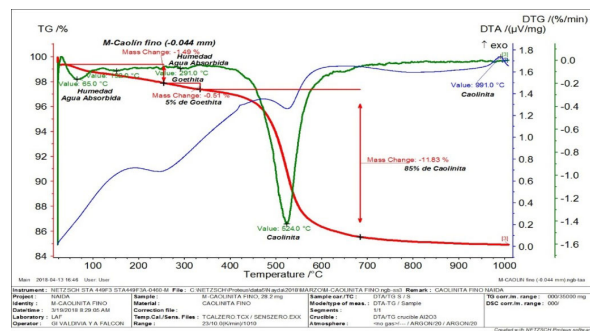


Figura 6. Termograma ATD - TG - DITG de la fracción -0.044 mm

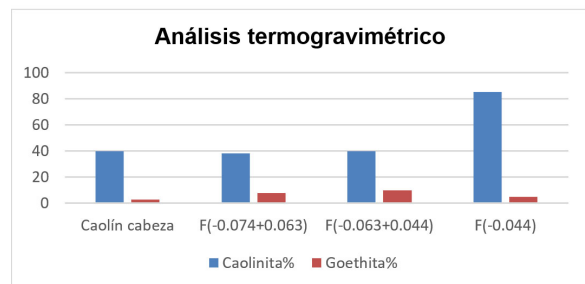


Figura 7. Resultado del análisis termogravimétrico %

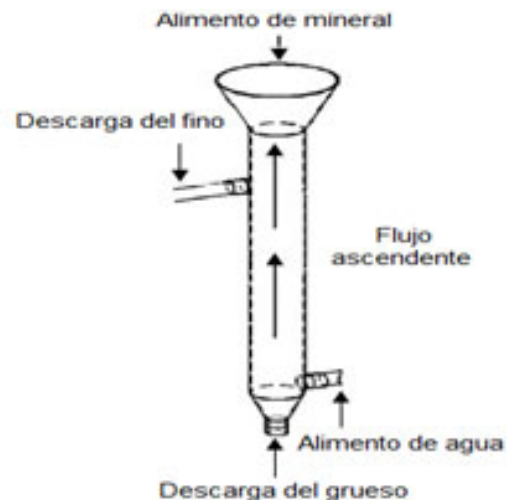


Figura 8. Elutriador utilizado

mejorar el balance global, se ajustaron los parámetros para la clasificación para obtener un mayor rendimiento de la fracción caolinítica en las pruebas a mayor escala.

CONCLUSIONES

1. La composición química del caolín y de las fracciones obtenidas por análisis granulométrico en la muestra ensayada es semejante a la utilizada en los estudios anteriores, por lo que los resultados de los estudios actuales podrán corroborar los anteriores.
2. En las condiciones ensayadas se obtuvo una eficiencia de separación de la fracción caolinítica de 84% con un rendimiento en peso de 72% de la fracción caolinítica, del 86% presente en la muestra original. Lo cual debe ser tomado en consideración para pruebas a mayor escala.

RECOMENDACIONES

Continuar estudiando parámetros importantes que influyen en este proceso, tales como la relación L/S en la alimentación, la velocidad de alimentación del mineral, entre otros, a escalas de laboratorio, piloto o industrial, y buscar alternativas de equipos baratos y más eficientes para realizar la levigación del caolín como el hidrociclón que es práctica común en la industria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración de los colectivos de Microproducciones, Mantenimiento y Aprovechamiento de Minerales por los servicios de preparación de muestras y apoyo en la instalación del elutriador.

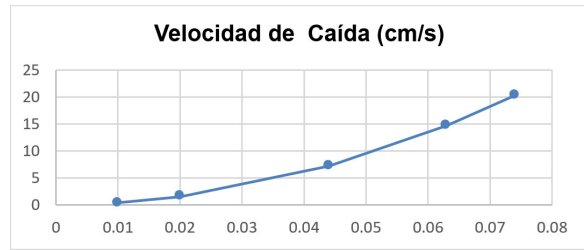


Figura 9. Determinación de las velocidades de caída para cada diámetro de partícula

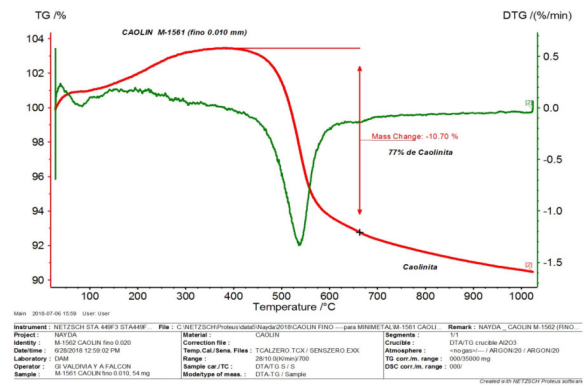


Figura 10. Termograma ATD - TG - DTG de la fracción -0.010 mm

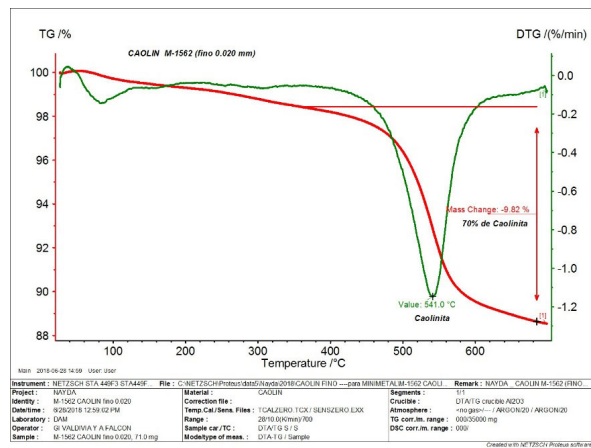


Figura 11. Termograma ATD - TG - DTG de la fracción -0.020 mm.

Tabla 7. Condiciones de operación

Diámetro partícula (mm)	Velocidad Caída (cm/s)	Flujo (L/min)	Tiempo llenado probeta 1L (seg)	Tiempo llenado probeta 2L (seg)
0.074	20.27	19.60	3.06	6.12
0.063	14.69	14.21	4.22	8.45
0.044	7.17	6.93	8.66	17.31
0.020	1.48	1.43	41.90	83.80
0.010	0.37	0.36	167.59	335.18

Tabla 8. Resultado de la prueba en el elutriador

Prueba	Tamaño (mm)	Rendimiento en (%)
Nº1	0.010	53.9
Nº2	0.020	72.2

BIBLIOGRAFÍA

- Dianna SSP.JC. 2015. Caolín Available: <<https://www.ecured.cu/Caolín>>, [Consulted: 8 18, 2020].
- Flores, S. 2009. Tecnología de clasificación fina de mineral metálico y no metálico. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, Vol. 12, (No.1): 27-31.
- Hernández, AN. & Rodríguez, T. 1985. Información sobre la prueba de planta piloto de las muestras de caolín del cuerpo 2 del yacimiento Dumañuecos. Informe de Investigación, La Habana: CIPIMM.
- Mendes, de Freitas, JJ. 2010. Caracterización y estudio tecnológico del Estado de Bahía (Brasil) para la obtención de materiales cerámicos tradicionales. Tesis Doctoral, España: Universidad de Santiago de Compostela Instituto de Cerámica de Galicia Available: <<https://www.scholar.google.es>>, [Consulted: 8 18, 2020].
- Montejo, E. 2002. Manual de procedimientos análisis microgranulométrico mediante levigación. La Habana: Departamento de aprovechamiento de minerales del CIPIMM
- Navarrete, C. & Hernández, AN. 1998. Tecnología para la producción de sulfato de aluminio a partir de materias primas caoliniticas cubanas. Informe de Investigación, La Habana: CIPIMM.
- Osorio, A. 2009. Evaluación de un sistema de clasificación hidráulica para separación diferencial de mezclas sólidas. Ingeniería de investigación Vol. 29, (No.3).

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores: **Gestión de Proyecto:** Alejandra Naida Hernández Martínez. **Investigación:** Milena Ramos Donatien, Alejandra Naida Hernández y Giselle Valdivia García. **Redacción - primera redacción:** Milena Ramos Donatien. **Redacción - revisión y edición:** Milena Ramos Donatien y Alejandra Naida Hernández, **Metodología:** Milena Ramos Donatien, Alejandra Naida Hernández y Giselle Valdivia García.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
