

**CLASIFICACIÓN HIDRÁULICA DE MINERAL CONCENTRADO DE GRANATE****HYDRAULIC CLASSIFICATION OF GRANATE CONCENTRATED MINERAL**

Yaysel Lozada García <sup>(1)</sup>, Emilio Montejo Serrano<sup>(1)</sup>, Eliecer Hidalgo Liriano<sup>(1)</sup>, Belkis Villavicencio<sup>(1)</sup>, Rosa Quijala Ramirez, <sup>(1)</sup>, Neisa Fernández Echevarría<sup>(1)</sup>, Sadiel Jorin Ordoñez<sup>(1)</sup>, Herson Arguelles<sup>(1)</sup>, Juan Estrada Alvarez<sup>(1)</sup>, Alberto Rodríguez Marichal<sup>(1)</sup>, Roxana Trueba<sup>(1)</sup>, Mario Aurelio Díaz Marrero<sup>(1)</sup>.

El esquema tecnológico desarrollado para la obtención de concentrados de Granate a partir del Skarn Granatífero de "La Yuca", incluyó la utilización de tamices finos (0.3, 0.2 y 0.1 mm). El empleo de estos en la clasificación granulométrica vía húmeda de los abrasivos implica un alto gasto de recursos, debido al desgaste que sufren los finos alambres de acero.

El objetivo de este trabajo es clasificar los concentrados por medio de columnas de clasificación hidráulica, diseñadas en el Centro, utilizando la ley de Stokes, que define la velocidad de caída de una partícula en el seno de un fluido. Se procesan concentrados de granate por debajo de 0.4 mm, obtenidos por separación magnética con una pureza entre 80 – 95 % de contenido de granate. Dicho concentrado se somete a distintas velocidades del fluido (agua), con vista a evaluar la eficiencia de la clasificación por tamaños, para satisfacer los requerimientos granulométricos para su empleo en limpieza de prótesis dentales. Los resultados alcanzados demuestran la posibilidad de emplear este procedimiento para obtener concentrados de granate de granulometría -0.3 + 0.2 mm y de - 0.2 + 0.1 mm, requeridas por estomatología para tratamiento de las estructuras metálicas de dichos implantes.

**Palabras claves:** granate, clasificación hidráulica, uso en estomatología

The technological scheme developed to obtain Garnet concentrates from the Granatífero Skarn of La Yuca, included the use of fine sieves (0.3, 0.2 and 0.1 mm). The use of these in abrasives grading wet classification implies a high expenditure of resources, due to the wear suffered by the fine steel wires. The objective of this work is to classify the concentrates by means of columns of hydraulic classification, designed in the Center, using the Stokes law, that defines the speed of a particle fall in the bosom of a fluid. Garnet concentrates are processed below 0.4 mm, obtained by magnetic separation with a purity of 80-95% garnet content. This concentrate is subjected to different velocities of the fluid (water), in order to evaluate the efficiency of the classification by size, to satisfy the granulometric requirements for its use in dental prosthesis cleaning. The results obtained demonstrate the possibility of using this procedure to obtain garnet concentrates of granulometry -0.3 + 0.2 mm and of - 0.2 + 0.1 mm, required by stomatology to treat the metallic structures of these implants.

**Keywords:** Garnet, hydraulic classification, use in stomatology.

**Recibido:** 23 de enero del 2017

**Aprobado en su forma original:** 3 de mayo del 2017

(1) Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM), Varona 12028 Km1<sup>1/2</sup> Boyeros, La Habana, Cuba, CP-10800 Correo electrónico: [yaisel@cipimm.minem.cu](mailto:yaisel@cipimm.minem.cu)

## INTRODUCCIÓN

La separación de un material granular en dos o más fracciones, utilizando la mayor o menor velocidad de traslación de sus partículas en el seno de un fluido, en este caso agua, es la operación denominada clasificación hidráulica. Cuando las distintas velocidades de traslación se emplean para separar materias de igual densidad, según el tamaño (y forma) de sus partículas entonces se denomina a la operación clasificación por tamaños y constituye un posible sustituto de la operación de tamizado. Cuando las partículas de las materias son de tamaños similares y la separación se realiza atendiendo a sus distintas velocidades de traslación en el seno de un fluido, ocurre un proceso de beneficio. En la práctica, es imposible trabajar con un material de partida de tamaño absolutamente uniforme, todas las operaciones de separación implican siempre, en mayor o menor grado, una clasificación por tamaños.

Los efectos debidos a tamaño y densidad de las partículas pueden considerarse conjuntamente con objeto de establecer cuáles son los tamaños de partículas de una mezcla de varios de ellos que pueden ser «separados» por diferencias de densidad. Las partículas «isodromas»; son aquellas que, perteneciendo a distintos materiales a separar, poseen el tamaño preciso para permitirles «caer» en el seno del fluido a una misma velocidad.

Los hidroclasificadores efectúan la clasificación de las partículas en función de sus diferencias de velocidad de desplazamiento relativo en el seno de un medio fluido. Lo cual indica que en este tipo de medios todos los procesos se realizan por vía húmeda.

Este tipo de clasificación se utiliza en la separación de partículas finas y muy finas con tamaños de corte comprendidos entre 0.2 mm y 2 mm, siendo el medio más económico que se puede emplear cuando se requieren altas capacidades de tratamiento.

La clasificación de las partículas sólidas en el seno de un fluido se obtiene cuando hay un movimiento entre las partículas y el medio fluido, pudiendo este, a su vez, encontrarse en reposo o en movimiento.

Basado en los resultados de un proyecto realizado en el CIPIMM, sobre el estudio de una muestra del Skarn Granatífero de "La Yuca", para la obtención de concentrados de granate para su empleo en pulido de prótesis dentales, surge la necesidad de buscar alternativas para la clasificación por tamaños finos del mineral o concentrado de granate, puesto que debido a sus propiedades abrasivas, las mallas de los tamices que se emplean son de alambres muy finos y se desgastan con gran rapidez.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Materiales y equipos empleados en la investigación.**

La muestra tecnológica que se utilizó para esta investigación es un mineral con propiedades abrasivas del yacimiento "La Yuca" de Santiago de Cuba, que después de un proceso de molienda (bajo 0.42 mm), homogenización, cuarteo, separación magnética, se somete a programa de pruebas de clasificación hidráulica en columna.

El objetivo de estas pruebas fue lograr la clasificación por diferentes tamices (0.5; 0.4; 0.3; 0.2 mm) para obtener el mayor rendimiento y la mayor recuperación posible en el rango de granulometría solicitada para limpieza de prótesis dentales, dependiendo de la velocidad de caída de la partícula en el seno de un fluido (agua). Para lograrlo se confeccionó un programa de pruebas a diferentes velocidades de caída determinado así el flujo por minuto para lograr pasar todo el concentrado y que este clasificara en el rango establecido.

Entre los equipos fundamentales que se utilizaron fueron:

- Molino de rodillo (véase Fig. 1).

- Separador magnético SM-138T de alta intensidad vía seca (véase Fig. 2).
- Clasificador hidráulico de laboratorio, con diámetro interior de 45.3 mm y área transversal de 16.12 cm<sup>2</sup>. (véase Fig. 3).

- Tamices (0.42; 0.315; 0.212; 0.106 mm).



Fig. 1 Molino de rodillos (abertura 6mm)



Fig. 2 Separador Magnético SM-138T.



Fig. 3 Clasificador Hidráulico.

**Metodología empleada**

La metodología que se empleó en esta investigación, se derivó de un procedimiento novedoso desarrollado en el CIPIMM, para el empleo de columnas para la clasificación hidráulica o beneficio, aplicado con éxito en muchas investigaciones, basado en las diferentes velocidades de caída que desarrolla una partícula en el seno de un fluido, producto de su tamaño, densidad, forma, etc.

La ley de Stokes, a partir de la cual se han desarrollado todos los equipos de hidroclasificación, es por la cual se calcula la velocidad de caída de la partícula en el seno de un fluido en esta investigación.

Ley de Stokes:

$$V_m = \frac{4\pi(\delta - \delta') \cdot g \cdot d^2}{3k \mu}$$

Dónde:

V<sub>m</sub>: Velocidad de caída de la partícula en el seno del fluido

μ: viscosidad del fluido,

g: aceleración de la gravedad,

d: radio de la esfera,

k: es una función del radio de la partícula.

Se aplica para partículas sólidas cayendo en el seno de un fluido (esferas de cuarzo de hasta 0.05 cm de radio) bajo condiciones de flujo laminar o viscoso donde las velocidades de transporte o desplazamiento son bajas.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la tabla 1 aparecen los cálculos teóricos de las velocidades de caída en agua, de partículas de diámetro entre 0.4 y 0.1 mm, calculadas por la ley de Stokes, para una densidad del granate de 3.90 g/cm<sup>3</sup> (tipo andradita), en la columna empleada.

**Tabla 1. Velocidades de caída de las partículas vs diámetro de la partícula.**

Diámetro partícula (mm)	Velocidad de caída (cm/s)	Flujo (L/min)	Tiempo de llenado probeta 1L (s)
0.4	39.48	38.17	1.57
0.3	14.21	13.74	4.37
0.2	6.32	6.11	9.82
0.1	1.58	1.53	39.30

➤ **Pruebas de laboratorio con el clasificador hidráulico de columna**

**Caracterización granulométrica**

La caracterización granulométrica de la muestra de los concentrados de granate estudiados por clasificación en columna aparece en la **tabla 2**.

**Tabla 2. Análisis granulométrico de la muestra de cabeza de concentrado de granate.**

FRACCION GRANULOMETRIA (mm)	PESO (g)	% PESO	% PESO ACUMULADO
+0.4 mm	0.03	0.01	0.01
-0.4 + 0.315 mm	0.04	0.02	0.03
-0.315 + 0.212 mm	7.41	3.69	3.73
-0.212 + 0.106 mm	76.52	38.11	41.83
-0.106 mm	116.79	58.17	100.00
TOTAL	200.79	100.00	

**Programa de pruebas en el clasificador hidráulico**

En la tabla 3, se observa el número de pruebas que se realizaron a las diferentes velocidades del agua.

**Condiciones Fijas de las pruebas de laboratorio**

Equipo empleado: Clasificador Hidráulico de vidrio.

Cantidad de muestra: 200 g.

Flujo del sólido: 50 g/min (constante).

**Tabla 3. Programa de pruebas a escala de laboratorio.**

No. Prueba	Velocidad del agua (cm/s)
1	1.77
2	2.07
3	2.48
4	3.10
5	4.14
6	6.20

**Resultados de las pruebas de laboratorio**

En la tabla 4 se muestran los resultados en cuanto a recuperación de la fracción útil en la fracción gruesa, rendimiento en peso de la

fracción gruesa, de las 6 pruebas de laboratorio realizadas en el clasificador de vidrio.

**Tabla 4. Resultados pruebas de laboratorio.**

No. Prueba	Fracción gruesa. Recuperación de fracción útil (%)	Rendimiento en Peso Fracción Gruesa (%)	Fracción Fina en los gruesos (%)
1	96.11	44.38	22.06
2	89.46	38.04	17.73
3	77.71	31.91	12.41
4	57.53	21.53	6.97
5	14.95	5.43	2.51
6	1.71	0.57	0.00

La eficiencia de estas pruebas a escala de laboratorio estuvo dada por el rendimiento obtenido en la fracción gruesa de las muestras, en la tabla 4 se observa que a pesar de que en la prueba 1 se obtiene un rendimiento superior a la prueba 2 esta última posee un valor menor en cuanto a % de finos en la fracción de interés.

Dado estos resultados se eligió las condiciones de la **prueba 2** con 38.04 % de rendimiento en peso y 17.73 % de fino para realizar una clasificación primaria a escala ampliada.

Esta prueba a escala ampliada tuvo dos etapas de clasificación la primera una clasificación básica, antes mencionada y la segunda clasificación llamada clasificación de limpieza, para esta etapa se escogió las condiciones de la prueba 4 de las pruebas de laboratorio debido a los valores obtenidos en la

misma, porque se obtuvo un mínimo de finos en la misma.

➤ **Pruebas a escala ampliada**

En esta prueba a escala ampliada se realizó primero una clasificación básica para eliminar finos, teniendo las siguientes condiciones:

• **Clasificación Básica**

**Condiciones:**

Equipo empleado: clasificador hidráulico de vidrio.

Cantidad de muestra: 2800 g.

Flujo del sólido: 700 g/min.

Velocidad del agua: 2.07 cm/s.

Los resultados de la clasificación básica se muestran la tabla 5.

**Tabla 5. Resultados de la clasificación básica.**

PRODUCTO	Rendimiento en Peso (%)	Contenido de fracción útil (%)	Recuperación de fracción útil (%)
Grueso (Clasificación Básica)	34.10	79.99	69.69
Fino (Clasificación Básica)	65.90	34.79	30.31
<b>Alimentación (cabeza)</b>	<b>100.00</b>	<b>39.14</b>	<b>100.00</b>

• **Clasificación de Limpieza**

**Condiciones:**

Equipo empleado: clasificador hidráulico de vidrio.

Cantidad de muestra: 630 g. (Grueso obtenido de la clasificación básica)

Flujo del sólido: 150 g/min.

Velocidad del agua: 3.10 cm/s

Los resultados de esta clasificación de limpieza se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6. Resultados de la clasificación de limpieza.**

PRODUCTO	Contenido fracción útil (%)	Respecto a la clasificación básica		Respecto a la cabeza (concentrado de granate)	
		Rendimiento peso (%)	Recuperación de fracción útil (%)	Rendimiento Peso (%)	Recuperación fracción útil (%)
Grueso Limpieza	91.67	70.43	80.72	24.02	56.25
Fino Limpieza	52.15	29.57	19.28	10.09	13.44
<b>Alimentación Grueso</b>	<b>79.99</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>34.10</b>	<b>69.69</b>

Esta prueba a escala ampliada permitió obtener un alto rendimiento en peso en la fracción gruesa (fracción de interés) cuyo valor es de 70.43 % con una recuperación a su vez de un 80.72 %. Respecto a la muestra a la cual

se le realizó análisis granulométrico (muestra de cabeza) se obtuvo un 24.02 % de rendimiento en peso con un 56.25 % de recuperación de la fracción de interés.

peso del 70.43 % y una recuperación de 80.72 % en la fracción gruesa obtenida en el clasificador de vidrio.

**CONCLUSIONES**

1. La clasificación hidráulica en columna, es un método novedoso, económico y a la vez efectivo en minerales de concentrado de granate.
2. Si se realiza una clasificación básica y luego una clasificación de limpieza con las condiciones estudiadas, se obtiene un 91.67 % de fracción útil, con un rendimiento en

**BIBLIOGRAFÍA**

Brown. G. G. La Habana, 1967. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química  
 Fueyo. C. L. Madrid, 1999. Equipos de trituración, molienda y clasificación." Tecnología, Diseño y aplicación.