

## EVALUACIÓN DEL USO DE POLIACRILAMIDA COMO MODIFICADOR REOLÓGICO EN LA MOLIENDA DE PULPAS DE CUARZO

Adriana Osorio <sup>1\*</sup>, Oswaldo Bustamante <sup>2</sup>, Juan Miguel Marin <sup>1</sup>, Gloria Restrepo <sup>1</sup>

1: Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Antioquia, Medellín- Colombia

2: I.M. CIMEX, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Sede  
Medellín, Medellín – Colombia

\* Contacto: eamoc822@udea.edu.co

### RESUMEN

Se prepararon soluciones de poliacrilamida (PAAM) a diferentes concentraciones para obtener viscosidades de 4, 6 y 8 cp, las cuales exhibieron comportamientos Newtonianos, posteriormente fueron usadas para elaborar suspensiones monodispersas de cuarzo (M 270 – 53  $\mu\text{m}$ ) al 60 % en sólidos. Se molieron en un molino de bolas, de 0.155 m de diámetro y 0.18 m de largo con bolas de acero al manganeso de 3 cm a diferentes tiempos y se determinaron las velocidades específicas de fractura. Las viscosidades de las pulpas productos de las moliendas fueron medidas con un Viscosímetro Brookfield. Se usó una Balanza Marcy para la determinación de la gravedad específica, Serie de tamices Normalizada U.S.A Certificate Standard Testing Sieve ASTM E 11/01 y Master Sizer 2000E + Hydro 2000 MU (A) para la determinación de la distribución de tamaño de partícula. Se evidenció que el uso de la poliacrilamida como modificador reológico afecta la distribución granulométrica obtenida para los diferentes tiempos e incide en la producción de finos, asimismo la velocidad específica de fractura crece con el aumento de la viscosidad del sistema, lo que indudablemente conllevará a una disminución del consumo energético del proceso.

**Palabras Clave:** *Reología, Velocidad específica de fractura, Molienda, Viscosidad, Cuarzo, Poliacrilamida.*

### ABSTRACT

Solutions of polyacrylamide (PAAM) at different concentrations to get viscosities of 4, 6 and 8 cp, which exhibit Newtonian behavior, were used to produce monodisperse suspensions of quartz (M 270-53 microns) with 60% solids. Suspensions were ground in a ball mill 0.155 m of diameter and 0.18 m long with manganese steel balls of 3 cm of diameter, at different times, to determine fracture specific rates. The viscosities of the pulps obtained by grinding were measured with a Brookfield Viscometer. A Marcy balance was used to determining specific gravity. USA Standard Sieve Series Certificate Standard Testing Sieve ASTM E 11/01 and Master Sizer 2000E + Hydro 2000 MU (A) were used to determining particle size distribution. Results showed that the use of polyacrylamide as a rheological modifier affects the particle size distribution obtained for the different times and affects the production of fines. Specific speed fracture increases with increasing viscosity of the system, which undoubtedly leads to a reduction in energy consumption of the process.

**Key Words:** *Rheology, Specific rate of breakage, Grinding, Viscosity, Quartz, Polyacrylamide.*

## **1 INTRODUCCIÓN**

El comportamiento reológico de las pulpas minerales es indicativo del nivel de interacción o agregación entre partículas, de aquí deriva su importancia como variable de control en procesos tales como transporte de lodos, deshidratación y molienda húmeda [1]. En una molienda en particular las propiedades físicas y químicas de una pulpa, tales como la distribución y tamaño de partícula, la concentración de sólidos, el uso de dispersantes y de modificadores reológicos, el valor de pH, la tasa de cizalladura y la temperatura, tienen una significativa influencia en la reología de la pulpa debido que cambian o modifican propiedades superficiales [2,3,4]. Todo lo anterior deriva en un proceso complejo y de alto consumo energético, por lo cual es importante encontrar formas de mejorarlos y en relación a esto disminuir costos de operación, en consecuencia, el objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la adición de poliacrilamida como modificador reológico sobre la cinética de fractura en la molienda de pulpas monodispersas de cuarzo.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Equipos y accesorios**

Molino de bolas de 0.16 m de diámetro y 0.18 m de largo con bolas de acero al manganeso de 3 cm, balanza Marcy para la determinación de la gravedad específica y preparación de las suspensiones, serie de tamices Normalizada U.S.A Certificate Standard Testing Sieve ASTM E 11/01 para la preparación de muestras, analizador de tamaño de partícula Master Sizer 2000E + Hydro 2000 MU (A) para la medición del tamaño y distribución granulométrica, viscosímetro Brookfield para determinar las viscosidades de las pulpas productos de cada una de las moliendas [5, 6].

### **2.2 Preparación de las soluciones de PAAM y suspensiones monodispersas**

Se prepararon soluciones de PAAM a concentraciones de 0.02, 0.035 y 0.05 % w/w en agua, con adición lenta de PAAM bajo agitación constante, y se dejaron en reposo por un período de 24 horas con el objetivo de aumentar la viscosidad del agua (blanco) a 4, 6 y 8 cp respectivamente (presentaron régimen Newtoniano). Se elaboraron suspensiones monodispersas de cuarzo M270 (53  $\mu\text{m}$ ) con las soluciones de PAAM preparadas al 60 % de sólidos, para molerlas y así estudiar el efecto del cambio de la viscosidad del sistema sobre la cinética de fractura.

### **2.3 Molienda y medición de viscosidad**

Las pulpas se molieron en tiempos cortos de 0.5, 1, 3, 5 y 10 minutos para garantizar una molienda con cinética de primer orden [7]. Cada vez que el material fue molido se determinó la viscosidad de la pulpa y la granulometría.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Caracterización del material y parámetros de molienda

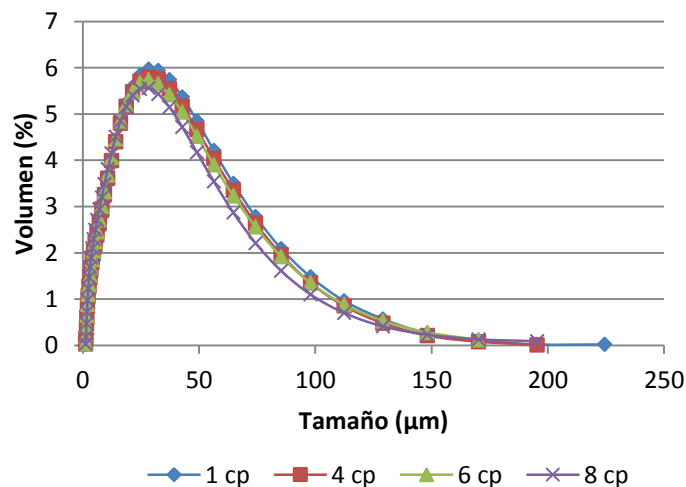
En la Tabla 1 se presentan algunas de las propiedades del material original y los parámetros de molienda empleados para la realización de los ensayos.

**Tabla 1.** Características del material y parámetros de molienda

Tipo de material	Arena Silíceea (Cuarzo)
Tamaño ( $\mu\text{m}$ )	53
Índice de trabajo, W (KWh/Tonc)	16
Largo molino (m)	53
Diámetro molino (m)	16
Tamaño de bola (cm)	3
Razón L/D	1.16
Velocidad Crítica (RPM)	119.4
Fracción de velocidad crítica	0.75
Fracción de llenado de bolas, J	0.3
Fracción de huecos, U	1
Porosidad nominal del lecho	0.4

#### 3.2 Cálculo de las velocidades específicas de fractura

La Figura 1 muestra las distribuciones granulométricas obtenidas para un tiempo de 3 minutos para los diferentes fluido utilizados en la preparación de las suspensiones, se puede ver como las curvas se desplazan hacia la izquierda, indicando esto que tal vez un incremento en la viscosidad del fluido produce una mayor probabilidad de captura de partículas lo que conlleva a una disminución del tamaño. Este mismo fenómeno se presentó para los demás tiempos de molienda utilizados.



**Figura 1.** Distribuciones granulométricas obtenidas para fluidos con diferentes viscosidades a 3 minutos de molienda

De igual forma para determinar la cinética de fractura se utilizaron los datos obtenidos para los diferentes tiempos de molienda con los fluidos de diferente viscosidad, pues se puede afirmar que cuando se produce una fractura eficiente al interior de un molino, la velocidad a la que esto ocurre por lo general sigue una cinética de primer orden.

En consecuencia, la tasa de fractura del material que tiene máximo tamaño puede expresarse de la forma:

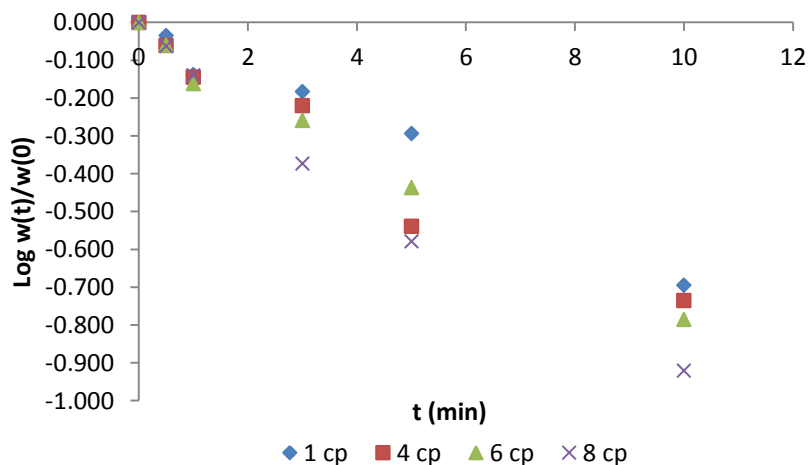
$$-\frac{dw_1}{dt} = S_1 w_1(t) \quad (1)$$

Asumiendo que  $S_1$  es constante en el tiempo e integrando la ecuación, obtenemos:

$$\log(w_1(t)) - \log(w_1(0)) = \frac{S_1 t}{2.3} \quad (2)$$

Donde  $w_1(t)$  y  $w_1(0)$  son la fracción de tamaño 1 en el tiempo  $t$  y en el tiempo cero respectivamente.  $S_1$  es la tasa o velocidad específica de fractura ( $\text{min}^{-1}$ ) del tamaño 1 y  $t$  es el tiempo de molienda ( $\text{min}$ ) [8]. Una línea recta cuya pendiente es  $-S_1/2.3$  se obtiene al graficar  $\log(w_1(t)/w_1(0))$  vs.  $t$  en escala lineal. En algunos casos, pueden presentarse desviaciones, las razones de estas desviaciones se han discutido por Austin y colaboradores en 1981 y 1982 [9,10].

La Figura 2, muestra la variación de la cinética de fractura para las moliendas realizadas con las soluciones de diferentes viscosidades. Las velocidades específicas de fractura indican que evidentemente un aumento en la viscosidad del fluido donde se prepara la suspensión genera una aceleración en la rotura del material, posiblemente se deba a la facilidad de capturar una partícula y a la disminución del fenómeno de escurrimiento entre cuerpos molidores.



**Figura 2.** Variación de la cinética de fractura para diferentes viscosidades del sistema.

Las velocidades o tasas específicas de fractura se observan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Velocidades específicas de fractura

Fluido	Viscosidad (cp)	S ( $\text{min}^{-1}$ )
H <sub>2</sub> O	1	0.152
PAAM 0.02%	4	0.171
PAAM 0.035%	6	0.175
PAAM 0.05%	8	0.213

Todo lo anterior constituye un avance a la optimización de estos sistemas pues es bien conocido que son procesos que demandan altos gastos energéticos y si se logra aumentar la tasa de fractura, el tiempo necesario para obtener un determinado tamaño puede reducirse dando como resultado disminución en los costos de operación.

#### 4 CONCLUSIONES

El uso de la poliacrilamida como modificador reológico afecta la distribución granulométrica obtenida para los diferentes tiempos de molienda e incide en la producción de finos. Las cinéticas encontradas para las suspensiones elaboradas con los fluidos de diferente viscosidad siguieron una ley de primer orden, con esto fue posible calcular la velocidad específica de fractura para cada suspensión y determinar que para moliendas realizadas bajo los mismos parámetros, un incremento en la viscosidad del líquido madre de la suspensión constituye un aumento en la velocidad específica de fractura, eso tal vez sea debido a que mejora la probabilidad de capturar una partícula y disminuye el fenómeno de escurrimiento entre cuerpos moleadores. Es necesario evaluar moliendas a tiempos más largos para determinar hasta qué punto se evidenciará este comportamiento. Sin lugar a dudas, si se logra aumentar la velocidad específica de fractura el tiempo necesario para obtener un determinado tamaño puede reducirse dando como resultado disminución en los costos de operación.

#### 5 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Investigación e Innovación Tecnológica en Nuevos Materiales y Procesos Constructivos para Infraestructura Vial - Red INNOVIAL, Cod. 550354332007, CT – 0654-2012, Proyecto Desarrollo y aplicación de nuevos materiales para infraestructura vial sostenible en vías terciarias, a COLCIENCIAS y a la Universidad de Antioquia por el apoyo para el desarrollo de este trabajo.

#### 6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Muster, T.H., Prestidge C.A., “Rheological investigations of sulphide mineral slurries”, Miner. Eng. 8, 1541-1555, 1995.
2. He, M. Wang, Y. y Forssberg. E. “Slurry rheology in wet ultra-fine grinding of industrial minerals: a review”, Powder Technol, 147, 94-112, 2004.

3. He, M. y Forssberg. E. "Influence of slurry rheology on stirred media milling of quartzite". *Int. J. Miner. Process.*, 8, 240-251, 2007.
4. Senapati, P.K., Mishra, B.K. y Parida.A., "Modeling of viscosity for power plant ash slurry at higher concentrations: Effect of solids volumen fraction, particle size and hydrodynamic interactions". *Powder Technol.*, 197, 1-8, 2010.
5. Kawatra S.K., Bakshi, A.K. y Miller Jr. T.E., "Rheological characterization of mineral suspensions using a vibrating sphere and rotational viscosimeter", *Int. J. Miner. Process.*, 44-45, 155-165, 1996.
6. Shi, F. N. and Napier-Munn, T. J., "Measuring the rheology of slurries using an on-line viscometer", *Int. J. Miner. Process.*, 47(3-4), 153- 176, 1996.
7. Austin, L. y Concha, F., "Diseño y Simulación de Circuitos de Molienda y Clasificación". Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología, 1994.
8. King, R.P. and Schneider, C.L., "Mineral Liberation and the batch comminution equation". *Minerals engineering*, 11, 1143-1160.
9. Austin L.G., Bagga, P. and Çelik, M., "Breakage Properties of Some Materials in a Laboratory Ball Mill"., *Powder Technology*, 28, 235-241, 1981.
10. Austin L.G., "Rate Equations for Non-Linear Breakage in Mills Due to Materials Effects"., *Powder Technology*, 31, 127-133, 1982.