

CARACTERIZACIÓN DE LA PULPA DE MOLIENDA DE MINERAL DE ARSENOPIRITA FeAsS

M. Reyes Pérez^{1,}, R.A. García Escobar¹, J.C. Juárez Tapia¹, E. Palacios Beas², M. Pérez Labra¹, I. A. Reyes Domínguez³, M.U. Flores Guerrero⁴, F.R. Barrientos Hernandez¹ A.M. Teja Ruiz¹.*

¹Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales AACTyM, UAEH, Mineral de la Reforma, Hidalgo CP 42186.

²Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas ESQUIE, Instituto Politécnico Nacional, Unidad profesional, Adolfo López Mateos. 07738 Ciudad de México, México.

³Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Metalurgia, Av. Sierra Leona 550, Lomas 2ª. Sección 78210 San Luis Potosí, S.L.P., México.

⁴Universidad Tecnológica de Tulancingo. Área de Electromecánica Industrial. Camino a Ahuehuetitla #301 Col. Las Presas, Tulancingo, 43642 Hidalgo, México.

**Autor de correspondencia: mreyes@uaeh.edu.mx*

RESUMEN

Durante la molienda de los sulfuros minerales en molinos de acero se llevan a cabo reacciones galvánicas entre el hierro de las bolas de molienda y las especies sulfurosas provocando la oxidación superficial de los elementos que constituyen los sulfuros, afectando el éxito de la siguiente etapa. Por tal razón se estudió y caracterizó el efecto de los medios de acero, el pH inicial y el tiempo, en la fisicoquímica de la pulpa de molienda de arsenopirita (FeAsS). Los resultados experimentales muestran la variación del potencial de iones hidrógeno con el tiempo, resultado del contacto galvánico entre el hierro y las partículas de arsenopirita, provocando la oxidación de los elementos que constituyen el mineral tal como; hierro (Fe), arsénico (As) y el azufre (S), este conlleva a la formación de ion sulfato acidificando la pulpa, además, tiende a aumentar la conductividad eléctrica k (μS) de la pulpa. Por otro lado, la concentración de oxígeno disuelto disminuye significativamente desde un valor de alrededor de 8 mg/L hasta prácticamente cero a valores de pH más alcalinos y tiempos de 20 minutos, junto a esto el ambiente químico de la pulpa muestra potenciales óxido reducción negativos y disminuye continuamente con el progreso de la molienda.

Palabras Clave: Arsenopirita, sulfuros, oxidación, potencial óxido - reducción

1. INTRODUCCIÓN

La etapa de molienda precede al proceso de flotación [1], y es necesaria para, la liberación de las especies de valor de las no deseadas, y obtener un tamaño de partícula adecuado para lograr una separación selectiva durante la flotación. Anteriormente, la molienda era considerada solo como una etapa de conminución del mineral, sin embargo, durante esta, se llevan a cabo reacciones químicas y galvánicas, las cuales influyen decisivamente en la fisicoquímica de la pulpa y por tal en la flotación [2].

Durante la molienda ocurre el contacto entre los mismos sulfuros minerales que contiene la pulpa y los medios de molienda fabricados de acero, generándose una corriente galvánica debido a las diferencias de potencial de cada una de las especies presentes dentro del molino de bolas [1]. Los sulfuros minerales tienen un potencial de reposo mucho mayor que

el del hierro metálico, Por lo que los primeros actúan como cátodo, mientras el hierro de los medios de molienda actúa como ánodo [3].

En la literatura está bien establecido el papel que juega el ambiente químico durante la molienda de los sulfuros minerales, esto, es atribuido a los diferentes mecanismos químicos que actúan durante la molienda, los cuales son el cambio del Eh, la capa de hidróxido de hierro formada sobre las superficies minerales, la reducción del oxígeno disuelto, la precipitación de especies metálicas, y el par galvánico [4].

Uno de los mecanismos más importantes, que influyen en el éxito o el fracaso de la flotación es, la formación de una capa de hidróxido de hierro sobre la superficie expuesta de los sulfuros minerales. Esta contaminación superficial tiene un papel fundamental en la depresión de los sulfuros [5]. Por otra parte, se ha encontrado que el ambiente óxido - reducción depende fuertemente del hierro con el cual se tenga el contacto galvánico, e influye en el grado de disminución del potencial redox [6].

De lo anterior mencionado se tiene que el ambiente químico de la pulpa de molienda, se ve fuertemente influenciado por la interacción galvánica entre los sulfuros y el hierro de los medios de molienda, debido a la absorción - precipitación del hierro a hidróxido férrico, el cual se llega a absorber a las superficies minerales, afectando el proceso de flotación. Esta separación podría optimizarse por la elección de las condiciones de molienda (pH) con la finalidad de controlar la cantidad de especies oxidadas [7].

Por tal razón se llevó a cabo un estudio de molienda en un molino de acero y con medios de material similar, con la finalidad de especificar las condiciones químicas de molienda afecten en lo más mínimo la fisicoquímica de la pulpa tales como el potencial óxido reducción, la concentración de oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica de la pulpa. Por cual, se caracterizó el efecto del pH y el tiempo de molienda de la pulpa.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Para caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la pulpa, se llevaron a cabo una serie de pruebas de molienda, usando para cada experimento 50 g de mineral de arsenopirita (FeAsS) tamizado a la malla 10, 1 L de agua desionizada, NaOH y H₂SO₄ 1.0 y 0.1 M reactivos grado analítico usados para ajustar el pH alcalino o ácido respectivamente. Se empleó un molino y bolas de molienda ambos fabricados de acero, con una capacidad de volumen de 6 L, utilizando 6 kg de esferas de acero (bolas) 66.7 % de 2.54 cm de diámetro, 33.3 % de 1.21 cm de diámetro.

Cada una de las pruebas experimentales de molienda consistió inicialmente en caracterizar el agua desionizada, empleando un volumen de 1 L por experimento, en un reactor de vidrio y agitando la solución magnéticamente, el pH se midió usando un potenciómetro Thermo Scientific Orion y un Electrodo de pH de la misma marca con sensor de temperatura acoplado, simultáneamente, se registró el valor del potencial óxido reducción ORP (mV). La concentración de oxígeno disuelto OD (mg/L) se determinó empleando un equipo Thermo Scientific Orion, para el monitoreo de la conductividad eléctrica, K (μS/cm) se empleó un conductivímetro Hatch.

Los valores de pH estudiados fueron 6, 6.5, 11 y 14 individualmente. La solución experimental una vez con el pH inicial titulado, y los 50 g de mineral puro de arsenopirita se pasaron al molino de bolas, el cual cabe mencionar, que previamente se lavó con hidróxido de sodio concentrado y se enjuago vigorosamente con agua del grifo y desionizada. Las pruebas de molienda transcurrieron durante 20 minutos, monitoreando y obteniendo una muestra representativa de la pulpa de molienda cada 5 minutos de proceso.

Una vez colectado un volumen de alrededor de 50 mL de pulpa, se prosiguió la molienda hasta el siguiente tiempo y así sucesivamente hasta obtener 4 muestras representativas de pulpa de cada tiempo de molienda 5, 10, 15 y 20 minutos. A Cada muestra de pulpa, se le midió y registro el pH, ORP (mV), OD (mg/L) y K ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Una vez caracterizada la pulpa, se dividió en tres porciones; una se utilizó para medir el potencial zeta ζ (mV), una segunda se filtró, el líquido obtenido libre partículas se analizó en su concentración de As, Fe, S, Cu, Zn y Pb en un espectrómetro de masas por inducción acoplada (ICP).

3. RESULTADOS

La Figura 1, muestra el comportamiento del potencial de iones hidrogeno, pH, durante la molienda de arsenopirita, se observa que cuando el pH es muy alcalino, muestra una clara tendencia a disminuir durante todo el tiempo de molienda, esto puede atribuirse por un lado a la neutralización alcalina del ion sulfato producido durante la oxidación de la arsenopirita, esta reacción ocurre por efecto del contacto galvánico de una especie con mayor potencial respecto a otra con un menor de potencial óxido reducción tal como se reporta en la literatura [8].

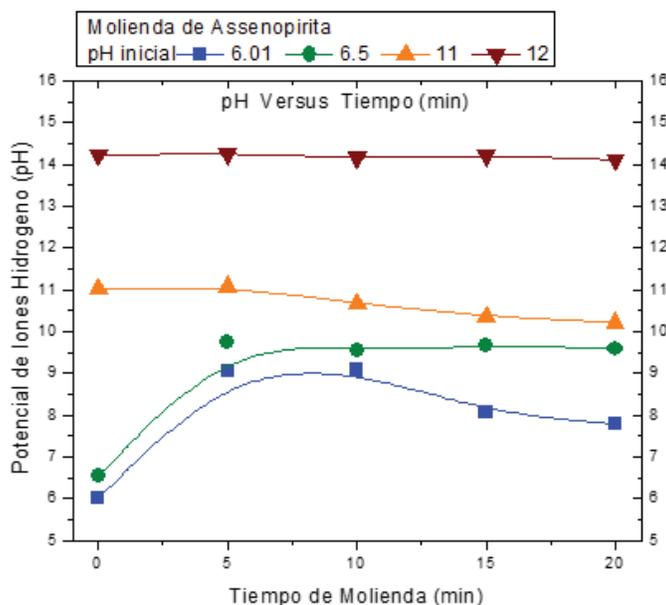
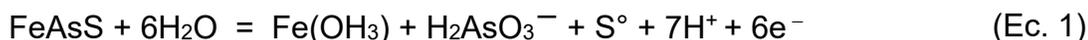
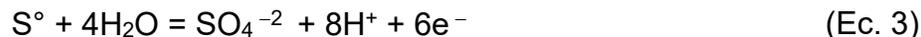
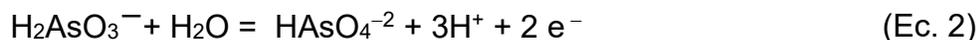


Figura 1. Potencial iones hidrogeno (pH) en función del tiempo de molienda de arsenopirita en molino de bolas de acero.

De la Figura 1, se observa, además, el cambio del pH de la pulpa de molienda con el tiempo respecto al valor inicial, en el caso, cuando las condiciones químicas de molienda tienen un valor inicial de pH entre 6.0 y 6.5. El pH aumenta en los primeros cinco minutos de molienda, posteriormente presenta valores de pH sin cambios significativos, esto se debe a las reacciones (ec. 1 - ec. 3) que se llevan a cabo, tal como se presentó anteriormente [8], y también debido al consumo del oxígeno expresado con la (ec. 4) generando iones OH^- e incrementando el pH de la pulpa [9].





La (Ec. 4), presentada anteriormente, se comprueba en la Figura 2 la cual presenta el comportamiento de la concentración de oxígeno disuelto en función del tiempo de molienda, es muy evidente la disminución del OD (mg/L) conforme avanza el tiempo de molienda y a mayor pH alcalino. El oxígeno disuelto se ha mostrado como un receptor de electrones, promueve el flujo de e^- y forma iones hidroxilo tal como lo muestra la ec. 4 [9]. Una aparente ventaja de la ausencia de OD en la pulpa de molienda es la disminución de la corrosión de los medios de molienda tal como se indica en la literatura [10].

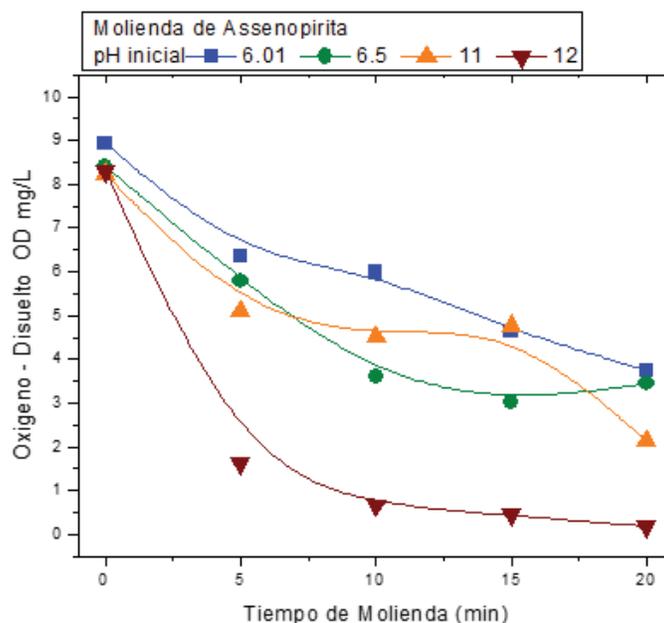


Figura 2. Concentración de Oxígeno Disuelto (OD)mg/L en función del tiempo de molienda de arsenopirita en molino de bolas de acero.

La interacción galvánica entre las bolas de acero y la arsenopirita durante la molienda, no solo influye en el pH y en la disminución de la concentración de OD en la pulpa, además, provoca la oxidación superficial del arsénico, azufre, hierro entre otras especies, tal como lo indica la ec. 1 el arsénico forma un ion anión arseniato. La Figura 3 muestra la concentración de arsénico en la pulpa en función del tiempo de molienda. La presencia de arsénico en la pulpa aumenta considerablemente con el tiempo y el pH, la oxidación del arsénico es en mucho mayor proporción a pH 14 y 10 tal como lo muestra la Figura 3.

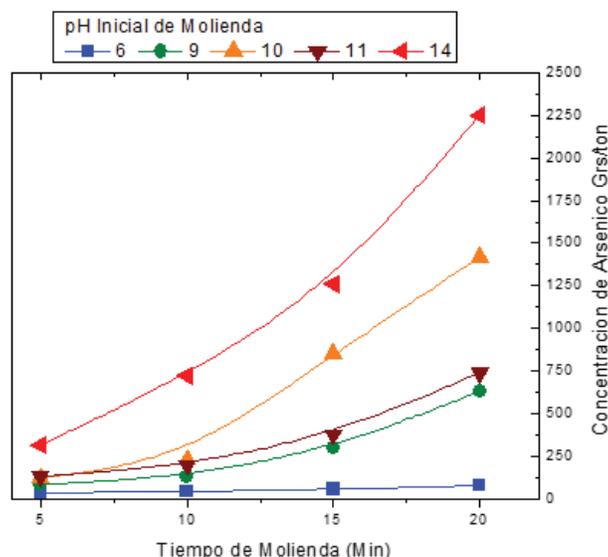


Figura 3. Concentración de Arsénico en Grs/ton en función del tiempo de molienda de arsenopirita en molino de bolas de acero.

La presencia de altas concentraciones de arsénico en solución de la pulpa es debido a su relativa elevada estabilidad termodinámica en ambientes acuosos tal como lo muestra la Figura 4 Diagrama de Eh - pH para el sistema As - H₂O a 25 ° C.

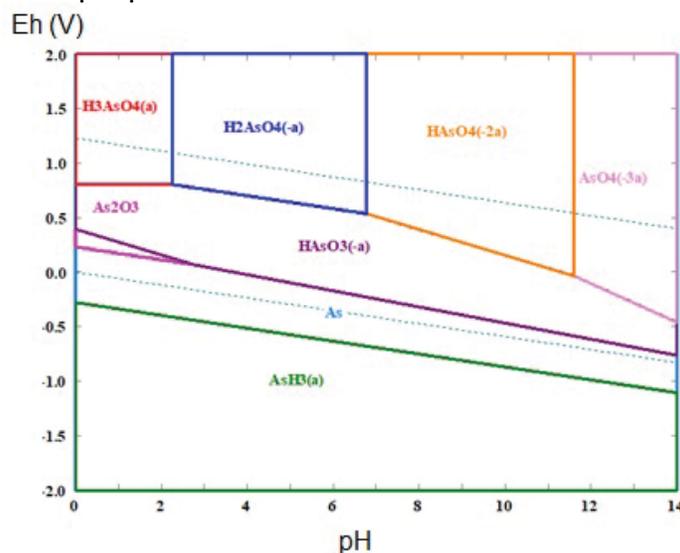


Figura 4. Diagrama Eh -pH para el sistema As - H₂O a 25 °C

Del diagrama Eh - pH de la Figura 4 se observa una amplia estabilidad del ácido trioxoarsénico HAsO_3^- tanto de pH como del potencial óxido reducción tanto en valores positivos u oxidantes como negativos o reductores, esto explica la elevada concentración de arsénico en la pulpa de molienda. Los valores del potencial óxido - reducción medidos en las pruebas experimentales de molienda son negativos tal como se muestra en la Figura 5 la cual presenta el comportamiento del potencial óxido reducción ORP (mV) en función del tiempo de molienda esta naturaleza reductora se presenta por la naturaleza de los iones arsénico en solución.

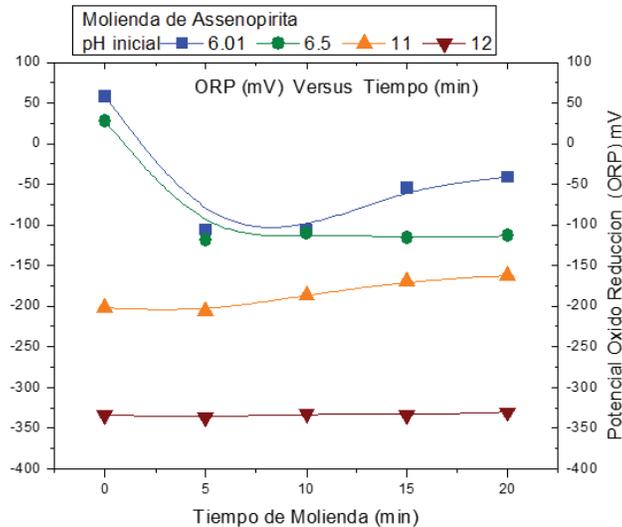


Figura 5. Potencial óxido reducción ORP (mV) en función del tiempo de molienda de arsenopirita en molino de bolas de acero.

4. CONCLUSIONES

En un ambiente acuoso, se encontró que el contacto galvánico entre los medios de molienda y las partículas de arsenopirita, afectan sustancialmente las propiedades fisicoquímicas de la pulpa, por ejemplo, cuando el pH es muy alcalino, este, disminuye constantemente con el tiempo de molienda, de la misma manera la concentración de oxígeno disuelto cae gradualmente con el tiempo de molienda. Por otro lado, la oxidación del arsénico durante la molienda forma un compuesto estable de trioxoarsénico HAsO_3^- en todo el rango de pH y con potenciales óxido reductores tanto positivos como negativos. Por lo que la arsenopirita se oxida significativamente durante la molienda.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Hidalgo, al Programa para el Desarrollo Profesional Docente PRODEP, y al Instituto Politécnico Nacional unidad ESQUIE.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] K.L.C. Goncalves, V.L.L. Andrade, A.E.C. Peres. Minerals Engineering 16 (2007) 1213–1216.
- [2] Y. Wei, R.F. Sandenbergh. Minerals Engineering 20 (2007) 264–272.
- [3] Rao, S.R., Moon, K.S., Leja, J. Fuerstenau, M.C. (Ed.), Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume, vol. 1. AIME, New York (1976) 509–527.
- [4] S. Grano. Minerals Engineering. 22, (2009) 386–394.
- [5] Y. Peng, S. Grano, D. Fornasiero. J. Ralston. Int. J. Miner. Process. 69 (2003a) 87–100.
- [6] Y. Peng, S. Grano, J. Ralston, D. Fornasiero. Minerals Engineering 15 (2002) 493–498.
- [7] G. Huang, S. Grano. Minerals Engineering 18 (2005) 1152–1163.
- [8] G. Huang, S. Grano, W. Skinner. Int. J. Miner. Process. 78 (2006) 198–213.
- [9] N. D. Janetski, S.J. Woodburn' & R. Woods. Inter. J. Miner. Process. 4 (1977) 227–239.
- [10] R. Weerasooriya, H.J. Tobschall. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 264 (2005) 68–74.