



## Evaluación de un procedimiento para la reducción del uso de NaSH en la separación de la molibdenita utilizando gas de nitrógeno

### Evaluation of a procedure for reducing the use of NaSH in the separation of molybdenite using nitrogen gas

Solano-Reynoso Walter Mario

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Departamento Académico de Matemática y Física

Correo: [walter.solano@unsch.edu.pe](mailto:walter.solano@unsch.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-5432-6052>

Villavicencio-Chávez Manuel Augusto

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica

Correo: [htmanu@yahoo.com](mailto:htmanu@yahoo.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0142-7930>

Vela-Marroquín Aurelio Raymundo

Universidad Nacional de Ingeniería

Ingeniero en Higiene y Seguridad Industrial

Correo: [aurelio\\_ve@hotmail.com](mailto:aurelio_ve@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-0629-2687>

#### RESUMEN

Se ha sustituido el aire por gas de nitrógeno ( $N_2$ ) en la fase de flotación selectiva de la molibdenita y calcocita (sulfuro de cobre,  $Cu_2S$ ), haciendo que la molibdenita flote en burbujas por su hidrofobicidad. Se utiliza NaSH para deprimir la calcocita, pero debido a la presencia de oxígeno ( $O_2$ ) en el agua y aire se hidroliza y se forman iones  $HS^-$ , provocando mayor uso de NaSH. El reemplazo por el gas nitrógeno evita la reacción con el oxígeno. La prueba realizada, se hizo en un circuito de celdas Rougher cuya evaluación llevó a comprobar un menor uso del NaSH de hasta aproximadamente 33%, disminuyendo costos y la consecuente contaminación. El molibdeno es un elemento de los metales de transición y tiene importancia en la industria del acero y lubricantes, entre otros. El interés por la molibdenita en los últimos años se debe a sus propiedades similares a la del grafeno superior en algunos casos.

**Palabras clave:** Molibdenita, celdas Rougher, sulfuro de sodio, sulfuro de cobre, hidrofobicidad, hidrofiliidad.

#### Abstract

The air has been replaced by nitrogen gas ( $N_2$ ) in the selective flotation phase of molybdenite and chalcocite (copper sulphide,  $Cu_2S$ ), making the molybdenite to float in bubbles due to its hydrophobicity. NaSH is used to depress copper sulphide (calcosine or calcocite,  $Cu_2S$ ), but due to the presence of oxygen ( $O_2$ ) in water and air it is hydrolyzed and  $HS^-$  ions are formed, causing greater use of NaSH. The replacement by nitrogen gas prevents the reaction with oxygen. The test was done in a circuit of Rougher cells whose evaluation led to a lower use of NaSH of up to approximately 33%, reducing costs and the consequent contamination. Molybdenum is an element of transition metals and is important in the steel industry and lubricants, among others. The interest in molybdenite in recent years is due to its properties similar to that of higher graphene in some cases.

**Keywords:** Molybdenite, Rougher cells, sodium sulfide, copper sulfide, hydrophobicity, hydrophilicity.

## INTRODUCCIÓN

El molibdeno es un elemento químico que se encuentra entre los metales de transición de número atómico 42 y masa atómica 95.96 gr/mol, cuya densidad es 10.2 gr/cm<sup>3</sup> en el estado sólido, con punto de fusión de 2 623 °C y de ebullición igual a 4 639 °C. El molibdeno tiene propiedades muy versátiles comparables a la del grafeno (Jiang, 2015; Zappa, 2017), es utilizado en las aleaciones de acero dándole propiedades de mejor calidad, como en catalizadores en la industria del petróleo. Los lubricantes de molibdenita (Jianxing *et al.*, 2009; Rahmati *et al.*, 2013), que es el disulfuro de molibdeno de fórmula química MoS<sub>2</sub>, son utilizados especialmente a temperaturas altas como en motores; son resistentes a la oxidación y corrosión, por lo que la molibdenita es un ingrediente en las pinturas de revestimientos; el molibdato de sodio es empleado (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>) como parte de los fertilizantes que ayuda a fijar el nitrógeno (Tepe y Boyd, 2001).

En los últimos años se ha visto que la estructura cristalina de la molibdenita (Castro *et al.*, 2016) posee propiedades muy especiales semejantes al grafeno (Arrieta *et al.*, 2014; Zappa, 2017), pero superior en muchos aspectos, como la de requerir menos energía y poseer propiedades bidimensionales superiores a la del grafeno, investigándose la fabricación de chips de molibdenita (Izyumskaya *et al.*, 2014; Cheng *et al.*, 2014). En suma, las prometedoras aplicaciones de la molibdenita en microelectrónica de alta tecnología con nuevas propuestas como transistores de MoO<sub>3</sub> cuasi bidimensionales que simulen sinapsis biológica (Yang *et al.*, 2017), ha incrementado el interés e importancia de la explotación minera del molibdeno, ubicando a la China como primer productor mundial, seguido de Estados Unidos, Chile y Perú.

Las propiedades químicas y físicas de la molibdenita están relacionadas con su estructura cristalina. Los átomos de molibdeno forman una estructura hexagonal, debajo del cual está también la estructura hexagonal del azufre paralela a la del molibdeno, de modo que una monocapa de molibdenita está conformada por una capa de molibdeno teniendo encima y debajo capas de azufre, es decir, la monocapa de molibdenita es un sándwich de una lámina de molibdeno cubierto de láminas de azufre (Zhou *et al.*, 2013; Arrieta *et al.*, 2014; Jiang, 2015; Cheng, 2014, Castro *et al.*, 2016). Las uniones entre átomos de Mo y S son fuertes, pero los enlaces entre los sándwiches son enlaces de van der Waals, presentando un efecto de fácil deslizamiento y, a la vez, de planos de exfoliación que le dan propiedades como la lubricación. Debido a la naturaleza de los enlaces se tie-

nen dos tipos de superficie en la molibdenita, una de ellas son las que se originan debido a la ruptura de los enlaces de van der Waals a las que se denominan las caras de la molibdenita; la otra superficie es la que se origina por la ruptura de los enlaces de Mo y S, denominada borde; como resultado se tienen diferentes propiedades (Kelebek, 1988; López Valdivieso y Reyes Bahena, 2005) en las caras y bordes, las caras presentan propiedades hidrofóbicas y los bordes hidrofílicas.

En los yacimientos mineros el molibdeno se encuentra asociado a la molibdenita, encontrándose con más frecuencia en yacimientos de cobre asociados al sulfuro de cobre (Cu<sub>2</sub>S), conocido como calcocita o calcosina, donde el interés es separar la molibdenita de la calcocita, que previamente sigue un proceso estándar como el chancado y molienda, llegando a la fase de flotación colectiva de la molibdenita y calcocita (Ata, 2012). En la separación selectiva, el procedimiento estándar es flotar la molibdenita y deprimir la calcocita, cuyo proceso es en realidad complejo, ya que hay que tener en cuenta las propiedades físicas y químicas de los minerales que se desean separar (Lobos, 2015) y, como consecuencia, elevan los costos de producción y la contaminación ambiental. El uso de depresores es evitar minerales específicos en una parte específica del proceso haciendo que sea hidrofóbica. En el caso de plantas de flotación de cobre-molibdeno se usan depresores inorgánicos tal como cianuro, Na<sub>2</sub>S, NaSH y algunos sulfitos que son reactivos tóxicos y de alto uso (Sarquís *et al.*, 2014).

En la fase de separación selectiva, un procedimiento prácticamente estándar es crear burbujas donde se adhieren las partículas de molibdenita aprovechando su hidrofobicidad para elevarse, mientras que la calcocita se va al fondo inmerso en el líquido que contiene agua. Sin embargo, en el proceso de separación a partir de la molienda, el hecho de usar agua para el proceso de separación de los diferentes componentes del mineral, aparecen los iones del calcio que alteran las propiedades hidrofóbicas de la molibdenita, haciendo que su flotabilidad disminuya. La revisión de Castro *et al.* (2016), detalla estudios al respecto, así como las evaluaciones realizadas por Lobos-Machuca publicada en su tesis (2015). Para compensar, se adiciona el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como agente que modifica el pH y se recupera significativamente la molibdenita. Por otro lado, para mejorar la depresión del cobre, una de las sustancias más usadas es el sulfuro de sodio (NaHS) (Sarquís *et al.*, 2014), el cual se hidroliza y luego se disocia para formar iones HS<sup>-</sup>, no obstante, estos se consumen por el oxígeno disuelto en el agua o los existentes en el aire, haciendo falta para la depresión de la calcocita y, por lo tanto, mayor consumo de NaSH. El otro problema del

uso de NaSH es la liberación de contaminantes en forma de gas sulfhídrico ( $H_2S$ ), un compuesto muy tóxico.

De acuerdo con estudios realizados (Chander, 2003; Poorkani y Banisi, 2005, Lobos, 2015), se ha llegado a comprobar que usando gas de nitrógeno ( $N_2$ ) en lugar de aire se evita la formación de iones  $HS^-$  y el consiguiente gas sulfhídrico. Esta sustitución reduce apreciablemente el uso de NaSH, disminuyendo los costos y, lo que es importante, reduciendo la contaminación atmosférica ambiental por procesamiento mineral.

El NaSH y otros depresores inorgánicos continúan utilizándose en la actualidad (Deng, 2017) en la recuperación de algunos minerales, como la sulfurización del NiO (Otzuki y Robinson, 2017), obteniéndose mejores resultados con  $(NH_4)_2S$  que con NaSH habiéndose usado gas de nitrógeno para eliminar el oxígeno disuelto. Las investigaciones de los últimos veinte años están dirigidas a reemplazar depresores inorgánicos tóxicos, como el NaSH, especialmente por otros que sean orgánicos y menos tóxicos o limpios del punto de vista ambiental (Reyes *et al.*, 2014; Sarquís *et al.*, 2014; Mu *et al.*, 2016; Qin *et al.*, 2017), dando como resultados patentes (Dimitriadis y Cook, 2017), tendientes también a disminuir costos de producción.

El presente trabajo es una evaluación de la producción de molibdenita y calcocita para plantas que usan NaSH, donde se trata de disminuir el uso de este depresante, sustituyendo el  $O_2$  por el gas  $N_2$ . Para ello, se han utilizado celdas Rougher como parte del circuito de flotación de la molibdenita y calcocita, diseñando un siste-

ma de suministro de nitrógeno en reemplazo del aire y su evaluación correspondiente, llegando a resultados satisfactorios en la disminución del uso de NaSH, como reducir apreciablemente los costos de separación de la molibdenita del sulfuro de cobre hasta aproximadamente en un 33%.

### MATERIAL Y MÉTODO

Se ha utilizado el circuito de flotación Rougher instalado en las minas de cobre de Toquepala ubicada en el Departamento de Tacna-Perú, cuyo esquema se muestra en la Figura 1. En el tanque de acondicionamiento de la pulpa mineral se tiene la calcocita y molibdenita donde se añade el NaSH, derivando hacia el circuito Rougher para la flotación, de donde sale el concentrado de cobre, por un lado, y la molibdenita por otro.

Para la inyección de gas de nitrógeno se hizo una instalación independiente a partir de un depósito de nitrógeno líquido, pasando por el proceso de gasificación, como se muestra en el esquema de la Figura 2. El equipo criogénico utilizado constituye de un tanque de nitrógeno líquido TM 6000, un vaporizador de  $400\text{ m}^3/\text{hr}$ , un tablero de control de flujo de 0 a  $400\text{ m}^3/\text{hr}$  con la red de suministro de la tubería correspondiente.

El monitoreo de la concentración de  $O_2$  en la atmósfera de las bancadas se realizó mediante un analizador de  $O_2$  de fase gaseosa, que se hizo antes de la inyección de nitrógeno. Las mediciones realizadas se ubicaron al inicio y final de cada bancada. Se realizó la evaluación

### ESQUEMA DE SUSTITUCION DE AIRE POR NITROGENO

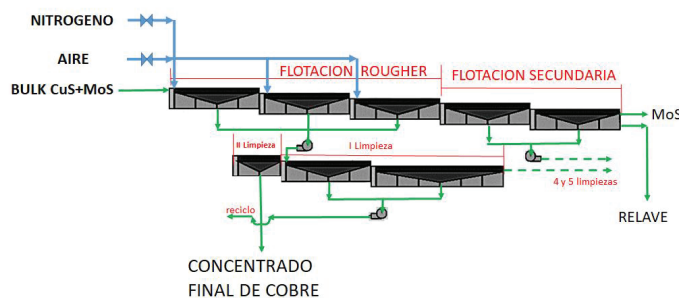


Figura 1. Esquema del circuito de flotación Rougher

### SUMINISTRO UNIFILAR DE NITROGENO

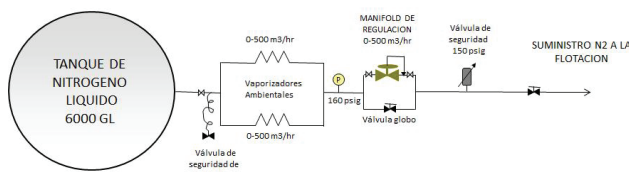


Figura 2. Esquema del suministro unifilar de gas de nitrógeno

del consumo de NaSH con O<sub>2</sub> e independientemente con N<sub>2</sub> para comparar dicho consumo, así como la recuperación de la molibdenita y calcocita para ver si el uso de N<sub>2</sub> afecta dicha recuperación. Basadas en la información proporcionada por la empresa minera del uso de NaSH con O<sub>2</sub>, se ha comparado con la evaluación que hicimos al usar N<sub>2</sub>. Finalmente, se ha evaluado también el consumo de nitrógeno por tonelada de la pulpa que consiste de molibdenita y calcocita, cuyos resultados se muestran en la siguiente sección.

Ya que en las celdas Rougher puede haber oxígeno residual, se ha comprobado dicha presencia con la ausencia y presencia de N<sub>2</sub>, cuyos resultados se muestran en la Figura 3. Como podemos apreciar, el hecho de usar nitrógeno no significa que el oxígeno no esté presente, pues se comprueba que hay trazas de O<sub>2</sub> hasta valores no superiores a 0.4% de O<sub>2</sub>.

En la prueba realizada de transición del uso de O<sub>2</sub> a N<sub>2</sub> mostrada en la Figura 4, se inició solo con presencia de O<sub>2</sub> hasta el día 5, donde las mediciones corresponden a la ausencia de nitrógeno (rojo), pasando por un período de preparación (azul) todavía sin nitrógeno hasta el día 16. A partir del día 17 comienza a introdu-

cirse nitrógeno hasta el día 34. Pueden observarse en la Figura 4 los resultados obtenidos después del acondicionamiento, donde la concentración de N<sub>2</sub> padece fluctuaciones en torno de una media igual a 191.00 m<sup>3</sup>/h.

Para las mismas etapas de la gráfica de la Figura 4 se ha medido la recuperación de la molibdenita y el sulfuro de cobre, que se muestra en la Figura 5, correspondiendo la curva superior a la molibdenita y la inferior a calcocita, asegurándonos que al usar aire o N<sub>2</sub> no modifica la recuperación de la pulpa, es decir, la molibdenita y calcocita.

Otro resultado interesante es la cuantificación de la molibdenita que queda en el concentrado de calcocita, denominada cola en el léxico minero, cuyo resultado se muestra en la Figura 6 para los mismos períodos de tiempo de la Figura 4, dándonos una tendencia a la disminución de la cola en el léxico minero, lo cual es un efecto positivo en la recuperación de la molibdenita, ya que idealmente conviene que la molibdenita no quede adherida a la calcocita y sea separada en un 100%, lo cual en la práctica no ocurre y se hace lo posible para minimizarla.

Uno de los resultados más importantes es la disminución del uso de NaSH, como se muestra en la Figura 7

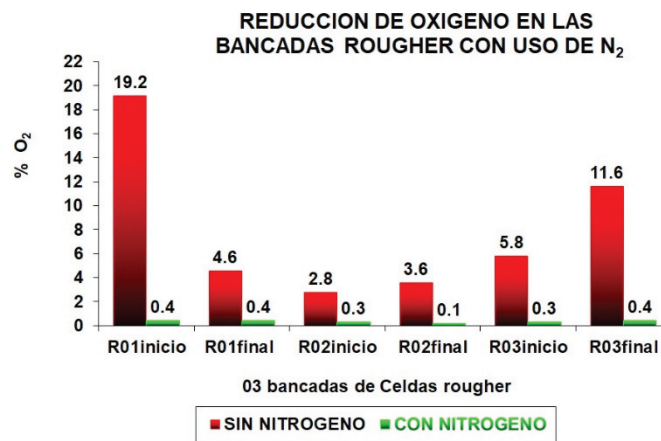


Figura 3. Concentración de O<sub>2</sub> en la atmósfera de las bancadas Rougher con y sin empleo de N<sub>2</sub>

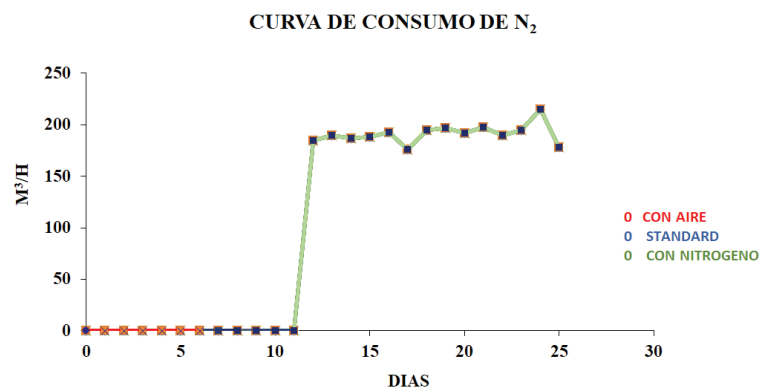
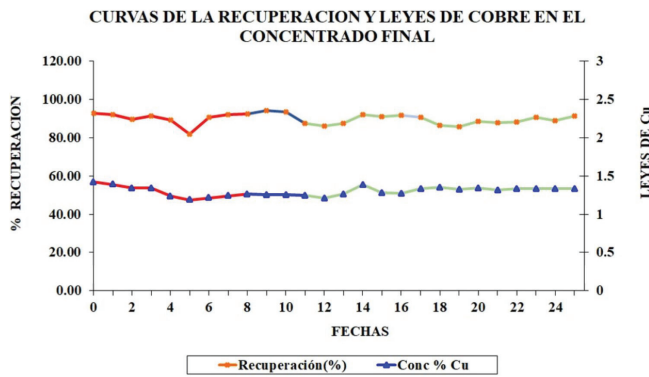


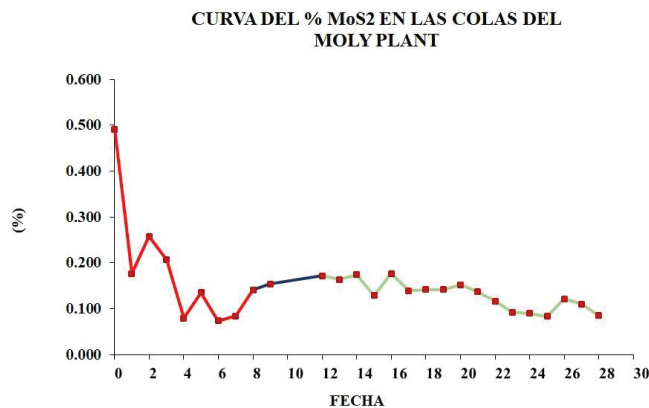
Figura 4. Cantidad de N<sub>2</sub> inyectada después del período de acondicionamiento. El día 5 corresponde al quinto día del mes donde se inician las mediciones (en rojo), pasando por el período de acondicionamiento (azul) e inyectar N<sub>2</sub> (verde)



Leyenda:

	Periodo estándar
	Periodo de acondicionamiento
	Periodo de test

Figura 5. Recuperación de la molibdenita y sulfuro de cobre medido en los mismos tiempos de la Figura 4



Leyenda:

	Periodo estándar
	Periodo de acondicionamiento
	Periodo de test

Figura 6. Porcentaje de molibdenita que se adhiere en el sulfuro de cobre, la cola en este caso

para los tiempos de la Figura 4. El consumo de NaSH tiende a disminuir a partir del suministro de N<sub>2</sub>, notándose que llega a una estabilidad en la cantidad de uso de NaSH. Los números nos dicen que hay una disminución de valores promedio de 10.46 Lbs/Tc en la zona roja sin la aplicación del N<sub>2</sub>, hasta un valor promedio de 6.92 Lbs/Tc, en la zona verde con la aplicación de N<sub>2</sub>. Además, se observa una tendencia a la estabilidad del consumo de NaSH en el periodo de uso de N<sub>2</sub>. La cuantificación de la disminución del uso de NaSH con nitrógeno respecto a los periodos estándar donde se usaba aire nos llevó a un 33.84% menos, lo cual representa no solo disminución en los costos del procesamiento sino también en la emisión de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) a la atmósfera.

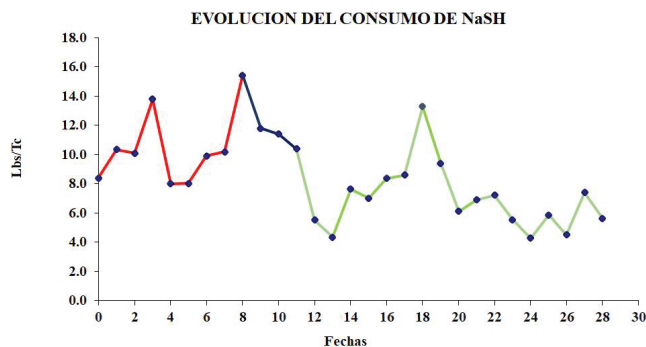
### DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Como se desprende de los resultados obtenidos, el protocolo implementado para la sustitución del oxígeno por nitrógeno de acuerdo con la Figura 4, se llega a una cantidad promedio de gas de nitrógeno para el proceso de separación de la molibdenita del sulfuro de cobre, habiéndose evaluado la recuperación de la pulpa de estos minerales y encontrándose que básicamente es la misma cuando no se utiliza nitrógeno, como se muestra en la Figura 5. Esto significa que desde el punto de vista

de la producción de estos minerales no se encuentran diferencias en utilizar uno u otro tipo de gas. Sin embargo, hay ventajas en cuanto a la cantidad de molibdenita que se adhiere a la calcocita, ya que se encuentra que hay una disminución de la cola, lo cual es ventajoso tanto en la producción de cobre como molibdenita, ya que en la separación de la molibdenita del cobre en el proceso adicional se tendrá menos carga de limpieza.

Como un resumen de los resultados obtenidos tenemos que el suministro de nitrógeno permitió reducir el consumo de NaSH de 10.46 Lbs/Tc a 6.92 Lbs/Tc, en un 33.87%, con un consumo uniforme de N<sub>2</sub> de 189 m<sup>3</sup>/h, logrando una estabilidad en el consumo de NaSH en la recuperación de la ley de cobre y menor porcentaje de MoS<sub>2</sub> en la cola, lo cual puede mejorarse para tiempos más prolongados. La evaluación del circuito y equipos de flotación asociados a una selección adecuada del sistema para proveer el nitrógeno permitió trabajar con un consumo bajo y uniforme de N<sub>2</sub> de 3.5 m<sup>3</sup>/Tc.

Si bien no se han presentado los posibles beneficios económicos que trae a la explotación minera del cobre y molibdeno utilizando nitrógeno en lugar del oxígeno, el saldo final de la sustitución de O<sub>2</sub> por N<sub>2</sub> es no solo disminuir los costos económicos de la producción de calcocita y molibdenita, sino también disminuir la emisión de contaminantes.



Leyenda:

	Periodo estándar
	Periodo de acondicionamiento
	Periodo de test

Figura 7. Consumo de NaSH durante el tiempo de evaluación correspondiente a la Figura 4, observándose una tendencia a disminuir

### CONCLUSIONES

Se ha comprobado que la aplicación de  $N_2$  no afecta el proceso de flotación obteniendo el mismo efecto en el concentrado de molibdeno por una parte y de calcocita por otro, lo cual nos indica un medio de flotación estable en la pulpa debido a la atmósfera inerte proporcionada por el nitrógeno. Como consecuencia, hay una disminución del uso de NaSH y consecuente reducción de los costos y emisión de HS como contaminante ambiental.

Para plantas de producción de molibdenita y calcocita donde se utilizan NaSH como depresor, se pueden implementar en los circuitos de flotación el suministro de gas de nitrógeno similar al reportado en esta publicación, lo cual beneficiaría la economía de la empresa como también la reducción de la contaminación ambiental.

Tener en cuenta que la tendencia actual es sustituir los depresores inorgánicos contaminantes por otros, especialmente de origen orgánico, que no solo sean no tóxicos sino también disminuyan los costos de producción.

### REFERENCIAS

Arrieta, D.I., Huamán, Y.E., Gutiérrez, M.C., Montalvo, R.A., Rivera P.H. (2014). Sistemas cristalinos bidimensionales. *Revista de Investigación de Física*, 17, 141701101.

Phenomena in the froth phase of flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 102.

Buckley, A., Woods, R., Wouterlood, H. 1988. The deposition of sulfur on pyrite and chalcopyrite from sodium sulfide solutions. *Aust. J. Chem.* 41 (7), 1003e1111. <http://dx.doi.org/10.1071/CH9881003>

Castro, S., Lopez-Valdivieso, A., Laskowski, J.S. (2016). Review of the flotation of molybdenite. Part I: Surface properties and floatability. *International Journal of Mineral Processing*, 148, 48-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2016.01.003>

Chander, S. (2003). A brief review of pulp potentials in sulfide flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 72(1-4), 141-150. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516\(03\)00094-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-7516(03)00094-2)

Cheng, R., Jiang, S., Chen, Y., Liu, Y., Weiss, N., Cheng, H.-C., Duan, X. (2014). Few-layer molybdenum disulfide transistors and circuits for high-speed flexible electronics. *Nature Communications*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms6143>.

Deng, S.M. (2017). Current situation of flotation process and reagents of Cu-Mo sulphide ores, 2017 2nd International Conference on Energy, Power and Electrical Engineering-IPEE-2017.

Dimitriadis, A. y Cook, T.E. (2017). Depression of copper and iron sulfides in molybdenite flotation circuits. Patent Application Publication, No. US 2017/0028409 A1, Feb. 2, 2017.

Izyumskaya, N., Demchenko, D.O., Avrutin, V., Özgür, Ü., Morkoc, H. (2014). Two-dimensional MoS<sub>2</sub> as a new material for electronic devices, *Turkish Journal of Physics*, 38, 478-496.

Jiang, J.W. (2015). Graphene versus MoS<sub>2</sub>: A short review. *Front. Phys.*, 10, 106801. <https://arxiv.org/ct?url=https%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1007%252Fs11467-015-0459-z&v=9c7e120b>

Jianxin, D., Wenlong, S., Hui, Z. (2009). Design, fabrication and properties of a self-lubricated tool in dry cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(1), 66-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmactools.2008.08.001>

Kelebek, S. (1988). Critical surface tension of wetting and of floatability of molybdenite and sulfur. *Journal of Colloid and Interface Science*, 124, 504-514.

Li, M., Wei, D., Liu, Q., Liu, W., Zheng, J., Sun, H. (2015). Flotation separation of copper-molybdenum sulfides using chitosan as a selective depressant. *Minerals Engineering*, 83, 217-222. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.013>

Liu, W., Moran, C.J., Vink, S. (2013). A review of the effect of water quality on flotation. *Minerals Engineering*, 53, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.07.011>

Lobos-Machuca, L.E. (2015). Evaluación del uso de NaSH en el circuito de flotación selectiva de molibdeno de los pelambres, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Químico, Universidad de Chile.

López-Valdivieso, J. y Reyes-Bahena, J.L. (2005). Flotación de calcopirita, pirita y molibdenita en minerales de cobre tipo pórfidos, X Simposio sobre Procesamiento de Minerales, Chilán, Chile. <https://www.911metallurgist.com/blog/wp-content/uploads/2016/05/Flotación-de-cobre.pdf>

- Mu, Y., Peng, Y., Lauten, R.A. (2016). The depression of pyrite in selective flotation by different reagent systems -A Literature review. *Minerals Engineering*, 96-97, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.06.018>
- Otzuki, A. y Robinson, D.J. (2018). Sulphidization to improve the nickel oxide recovery by froth flotation, MAYFEB. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 1, 1-10. ISSN 2560-693X.
- Poorkani, M. y Banisi, S. (2005). Industrial use of nitrogen in flotation of molybdenite at the sarcheshmeh copper complex. *Miner. Eng.*, 18 (7), 735-738.
- Qin, W., Wu, J., Jiao, F., Zeng, J. (2017). Mechanism study on flotation separation of molybdenite from chalcocite using thioglycolic acid as depressant. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(6), 1043-1049. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.06.011>
- Rahmati, B., Sarhan, A.A.D., Sayuti, M. (2013). Investigating the optimum molybdenum disulfide (MoS<sub>2</sub>) nanolubrication parameters in CNC milling of AL6061-T6 alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(5-8), 1143-1155.
- Reyes, L., Higuera, P., Godoy, A., Sobarzo, F., Sáez, C., Vásquez, J., Herrera, R. (2014). Assessment of the floatability of chalcopyrite, molybdenite and pyrite using biosolids and their main components as collectors for greening the froth flotation of copper sulphide ores. *Minerals Engineering*, 64, 38-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2014.04.004>
- Sarquís, P.E., Menendez-Aguado, J.M., Mahamud, M.M., Dzioba, R. (2014). Tannins: the organic depressants alternative in selective flotation of sulfides. *Journal of Cleaner Production*, 84 (2014) 723-726.
- Shean, B.J. y Cilliers, J.J. (2011). A review of froth flotation control. *International Journal of Mineral Processing*, 100(3-4), 57-71.
- Tepe, Y. y Boyd, C.E. (2001). A sodium-nitrate-based, water-soluble, granular fertilizer for sport fish ponds. *North American Journal of Aquaculture*, 63(4), 328-332. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2001\)063%3C0328:ASNBWS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2001)063%3C0328:ASNBWS%3E2.0.CO;2)
- Wu, D., Peng, H., Abdalla, M. (2018). Effect of sodium sulfide waste recycling on the separation of chalcopyrite and molybdenite, *Physicochem. Probl. Miner. Process*, 54, 629-638. <https://doi.org/10.5277/ppmp1854>
- Yang, C.S., Shang, D.S., Shi, G., Shen, X., Yu, R.C., Li, Y.Q., Sun, Y. (2017). A synaptic transistor based on Quasi-2D molybdenum oxide. *Advanced Materials, Communication*, 29, 1700906 (1-10), <https://doi.org/10.1002/adma.201700906>
- Yin, Z., Sun, W., Hu, Y., Zhai, J., Qingjun, G. (2017). Evaluation of the replacement of NaCN with depressant mixtures in the separation of copper-molybdenum sulphide ore by flotation. *Separation and Purification Technology*, 173, 9-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2016.09.011>
- Zanin, M., Ametov, I., Grano, S., Zhou, L., Skinner, W. (2009). A study of mechanisms affecting molybdenite recovery in a bulk copper/molybdenum flotation circuit. *International Journal of Mineral Processing*, 93(3-4), 256-266. <http://dx.doi.org/10.1016/j.minpro.2009.10.001>
- Zappa, D. (2017). Molybdenum dichalcogenides for environmental chemical sensing. *Materials*, 10, 1418. <https://doi.org/10.3390/ma10121418>
- Zhou, W., Zou, X., Najmaei, S., Liu, Z., Shi, Y., Kong, J., Lou, J., Pulickel, M.A., Boris, I.Y., Idrobo, J.C. (2013). Intrinsic structural defects in monolayer molybdenum disulfide. *Nano Letters*, 13(6), 2615-2622.