



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

BUSTAMANTE RÚA, MOISÉS OSWALDO; TOBÓN SUÁREZ, CLAUDIA MERCEDES; NARANJO
GÓMEZ, DORIA MARÍA

ESTUDIO DE HIDROFOBICIDAD DEL ORO NATIVO

Dyna, vol. 79, núm. 175, octubre, 2012, pp. 48-52

Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49624956008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ESTUDIO DE HIDROFOBICIDAD DEL ORO NATIVO

MOISÉS OSWALDO BUSTAMANTE RÚA

Instituto de Minerales CIMEX, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. mobustam@unal.edu.co

CLAUDIA MERCEDES TOBÓN SUÁREZ

Instituto de Minerales CIMEX, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. cmtobons@unal.edu.co

DORIA MARÍA NARANJO GÓMEZ

Instituto de Minerales CIMEX, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. dmnananjog@unal.edu.co

RESUMEN: La recuperación de oro nativo, usando flotación espumante como un proceso de concentración de minerales, requiere garantizar que las partículas de oro sean hidrofóbicas. La hidrofobicidad del oro nativo puede ser inducida por el uso de surfactantes adecuados, denominados colectores, los cuales modifican las propiedades superficiales de las partículas de interés. La ecuación de Young permite relacionar el ángulo de contacto (θ) con las tensiones interfaciales, γ_{SG} , γ_{SL} y γ_{LG} , entre el sólido (S), líquido (L) y gas (G), de una gota de líquido sobre una superficie sólida, en un medio gaseoso. El ángulo de contacto como una medida de la hidrofobicidad de una superficie sólida, es un parámetro ampliamente usado en la flotación espumante en el procesamiento de minerales.

PALABRAS CLAVE: Hidrofobicidad, ángulo de contacto, flotación espumante.

ABSTRACT: For native gold recovery, by froth flotation as a process of mineral concentration, it is necessary to ensure that the gold particles are hydrophobic. The native gold hydrophobicity can be induced by using suitable surfactants, collector reagents, which modify the surface properties of the particles of interest. The Young equation allows to relate the contact angle (θ) with the interfacial tensions, γ_{SG} , γ_{SL} and γ_{LG} , between the solid (S), liquid (L) and gas (G), of a liquid drop on a solid surface in a gaseous medium. The contact angle as a measure of the hydrophobicity of a solid surface is a parameter widely used in froth flotation in mineral processing.

KEYWORDS: Hydrophobicity, contact angle, froth flotation.

1. INTRODUCCIÓN

El oro se ha considerado uno de los metales máspreciado por el hombre, gracias a sus características ha ocupado un papel importante en la historia y el desarrollo humano. Las características físicas y químicas del oro, hacen posible su gran variedad de usos en la actualidad.

En los depósitos auríferos, el oro se puede presentar asociado a sulfuros metálicos, principalmente a piritas, en granos individuales de diferentes tamaños, conocido como oro nativo y ocasionalmente en solución solida como Telururos [1, 2].

En Colombia, actualmente se recupera el oro nativo con la tradicional tecnología de amalgamación usando mercurio, la cual es altamente nociva para

el medio ambiente [3]. De acuerdo con las normas internacionales se debe erradicar de los procesos de beneficio el uso de mercurio, y una alternativa, es reemplazar esta tecnología, por la flotación espumante directa, como método de recuperación de oro.

El proceso de flotación espumante ha sido ampliamente usado por más de un siglo como un método rápido y eficiente para separar el mineral de interés a partir de gangas, basado en la diferencia de su hidrofobicidad natural ó inducida [1, 2]. Este proceso usa diferentes reactivos, tales como colectores y depresantes, los cuales modifican las propiedades superficiales del mineral [4, 5, 6]. El proceso de flotación espumante es relativamente complejo dado que involucra aspectos tanto físicos, como químicos en la interface mineral-solución y hasta factores mecánicos en la celda de flotación [7].

Para realizar el proceso de flotación de oro nativo, es necesario garantizar la hidrofobicidad selectiva de las partículas de oro. La hidrofobicidad para minerales de naturaleza hidrofílica como es el oro nativo, debe ser inducida por la acción de reactivos, que modifican las propiedades superficiales de las partículas [1]. La propiedad que controla la adhesión entre partícula y burbuja, es la energía libre superficial [5, 8] y una medida de la magnitud de la ésta, es el ángulo de contacto, la cual permite cuantificar la humectación de la superficie [7, 9].

Por otro lado, se tiene evidencia que algunos tiocoletores interactúan con minerales auríferos, principalmente asociados a sulfuros [1, 2, 10], pero no es muy claro el rol de estos reactivos en interfaces de oro nativo en medio acuoso, y por lo tanto esta investigación verificó el efecto sobre las superficies de oro nativo de diferentes colectores, usando como parámetro para cuantificar la hidrofobicidad el ángulo de contacto.

Beattie *et al* [11], estudiaron la adsorción y la coadsorción de dos colectores de flotación (mercaptobenzotiazol y ditiofosfato) en superficies de oro y concluyeron que, dependiendo de las condiciones de la solución y del tiempo de acondicionamiento, son adsorbidas sobre la superficie de las partículas sub monocapas y por lo tanto, el tiempo de acondicionamiento es una variable que puede llegar a controlar el proceso de flotación. Antes de definir la proporción de los colectores a utilizar es importante definir su papel en el proceso de flotación [12].

2. IMPORTANCIA DEL ÁNGULO DE CONTACTO EN LA FLOTACIÓN

El ángulo de contacto (θ) es un indicador muy común y útil de la hidrofobicidad de una superficie sólida mineral, debido a una relación entre éste y la flotabilidad de los minerales [2, 9, 13]. El balance hidrofílico/hidrofóbico en la superficie del mineral puede ser evaluado en términos del ángulo de contacto desarrollado entre las tres fases involucradas: sólido (S), líquido (L) y gas (G) [13, 14].

2.1. Ángulo de contacto

De acuerdo con la referencia de Van Oss 2007 [15], Thomas Young, en 1805, relacionó el ángulo (θ),

formado entre la tangente a la gota de líquido (L), depositada en una superficie sólida (S), con las tensiones interfaciales líquido-gas, sólido-líquido (y sólido-gas), (figura 1. Young supuso que se establece un equilibrio de fuerzas de acuerdo con la ecuación (1), desde entonces el concepto de la tensión interfacial ha sido ampliamente utilizado, [7].

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (1)$$

La ecuación de Young se puede representar por como:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (2)$$

La ecuación (2) establece una relación entre el ángulo de contacto y la energía libre interfacial [14]:

Si, entonces: y $\theta = 0^\circ$, ocurre humectación completa.

Si, entonces: y $\theta > 0^\circ$, ocurre humectación parcial.

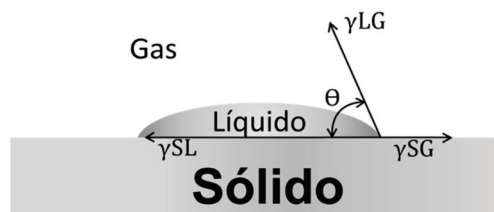


Figura 1. Ángulo de contacto

El éxito de la medida del ángulo de contacto sobre superficies planas depende en gran parte de la calidad de la superficie y de su limpieza. En general las medidas de ángulos de contacto sobre superficies planas son difíciles e inciertas cuando el ángulo es menor de 20° , debido a la alta sensibilidad al error experimental [9].

Para superficies planas y sólidas, la técnica más utilizada para la medición del ángulo de contacto es la medida directa del ángulo viendo el perfil de una gota puesta en una superficie pulida. Una imagen de una gota en reposo se puede proyectar a una pantalla y trazar los contornos para medir el ángulo con un transportador, esto se puede registrar permanentemente como lo propusieron Leja y Poling en 1960 [9]. Además se hace más preciso por el uso de aumentos relativamente altos, hasta 50 veces, que permite el examen detallado de la intersección del perfil de la gota y la superficie sólida. Hunter demostró en 2001 que el ángulo formado por

una gota sésil se puede determinar con una precisión de ± 2 para ángulos de contacto mayores que 20° [9].

2.2. Hidrofobicidad inducida por el colector

Las partículas pueden alcanzar la hidrofobicidad alterando apropiadamente las tensiones interfaciales a través de la adsorción de especies surfactantes, productos químicos conocidos como colectores [16].

La función predominante de los colectores es inducir la hidrofobicidad en el mineral deseado, mediante un proceso de adsorción en la cual el grupo polar interactúa con la superficie del mineral de manera física (fisisorción) con la posibilidad de multicapas adsorbidas y con baja energía de activación, o mediante enlaces químicos convencionales (quimisorción), con adsorción en monocapa y alta energía de activación. El grupo no polar se orienta hacia el seno de la solución y desarrolla el comportamiento hidrofóbico de la interfase del mineral. El mecanismo de unión colector-mineral depende del tipo de colector y de la naturaleza y carga de la superficie mineral [1, 17].

La experiencia ha demostrado que inducir la hidrofobicidad de las partículas de interés, es tan sólo una parte del complejo sistema de flotación, dado que la formación de una espuma mineralizada en una celda de flotación requiere además de la consideración de otros parámetros; ésto es, la hidrofobicidad se requiere para la flotación, pero no toda partícula hidrófoba necesariamente puede flotar [18].

3. MATERIALES Y EQUIPOS

Las partículas de oro nativo usados en el presente trabajo, proviene de los depósitos aluviales del río Nechí, en el nordeste antioqueño (Colombia). La medición de los ángulos de contacto, se llevó a cabo sobre placas de oro de forma circular de 2.5cm de diámetro y 0.34mm de espesor, en la cuales se adsorbía el colector. El equipo usado fue goniómetro tipo OCA 15 PLUS. Con un software SCA 20.

Para garantizar la limpieza de las placas de oro, antes y después de la adsorción, se utilizó una solución piraña (SP), preparada con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno según Gierbers *et al.* [19], para garantizar superficies completamente hidrofílicas al inicio de la adsorción.

Los colectores usados fueron: Mercaptobenzotiazol (MBT), Tionocarbamato (TC) y ditiofosfato (DTP). El tiempo de acondicionamiento fue de 5, 10, 15 y 20 minutos, para cada uno de los colectores.

Para la caracterización de las partículas de oro nativos se usó un microscopio SEM tipo JEOL JSM-5910LV, con analizador cuantitativo y cualitativo para análisis químico.

Las pruebas de flotación espumante se realizaron en una celda Hallimond de 30ml de capacidad, con una bomba dosificadora peristáltica Watson Marlot®, con adición de 60 gr/ton de colector y no se varió durante la investigación.

4. RESULTADOS

4.1. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La figura 2 muestra el microanálisis químico de una partícula de oro nativo, donde se observa la alta pureza de éste (96.57% en peso de Au), con una razón de aspecto aplanadas (*“flakes”*).

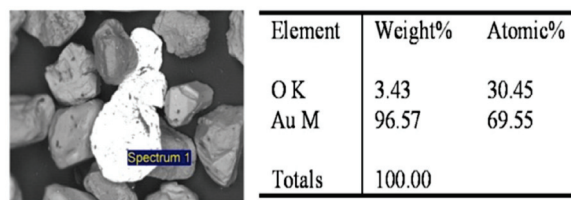


Figura 2. Microfotografía y análisis por SEM de una partícula de oro

4.2. Ángulo de contacto

La figura 3 muestra las fotografías de la gota de agua que cae sobre la superficie de oro, limpiada con SP y usando el colector DTP, obtenida con el equipo usado.

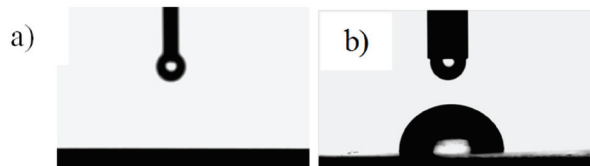


Figura 3. Ángulo de contacto: a) en placa de oro limpia y b) sobre placa de oro con colector DTP.

Los ángulos de contacto θ sobre las placas de oro, para las superficies después de ser lavadas con SP y

para las mismas superficies tratadas con los diferentes colectores se presentan en la figura 4. Se observa que con 5 minutos de acondicionamiento, el ángulo de contacto es similar para los tres colectores utilizados (MBT, TC y DTP), mientras que con un tiempo de acondicionamiento de 10 minutos, se ve claramente el incremento del ángulo de contacto usando DTP, respecto a los demás colectores.

Se puede observar también, que el reactivo DTP, a diferencia de los otros, alcanza valores muy altos de ángulo de contacto ($\theta = 92.89^\circ$) para 20 minutos de acondicionamiento.

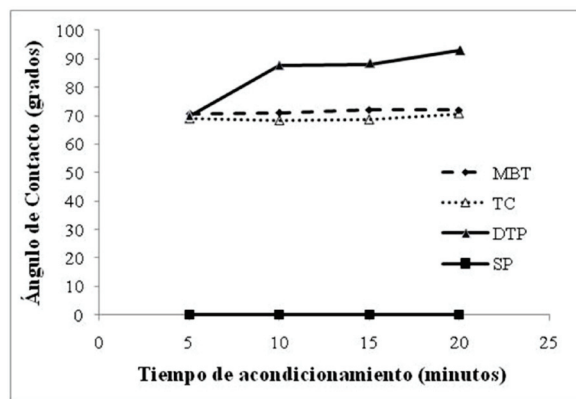


Figura 4. Ángulo de contacto en la placa de oro

4.3. Recuperación de oro en la flotación espumante

La tabla 1 muestra los porcentajes de recuperación obtenidos en las pruebas de flotación realizadas en el laboratorio con los tres colectores (MBT, TC y DTP) utilizados para las medidas del ángulo de contacto. Se observa que los resultados para las pruebas de flotación realizadas con los colectores MBT y TC presentan recuperaciones bajas 65.0% y 67.5%, respectivamente; mientras que con la prueba realizada con DTP se alcanza un valor de 95.0% en la recuperación de oro.

Tabla 1. Resultados de Flotación con 20 minutos de acondicionamiento

Colector	Recuperación
	%
MBT	65.0
TC	67.5
DTP	95.0

5. CONCLUSIONES

- El oro nativo presentó un comportamiento hidrofílico naturalmente y requiere de modificación de su energía libre superficial mediante el uso de tiocoletores tipo DTP, MBT y TC.
- De acuerdo a la teoría clásica, los tiocoletores actuarían principalmente sobre interfaces de sulfuros metálicos. Sin embargo, ellos variaron el ángulo de contacto de partículas de oro nativo que no tenía presencia de sulfuros metálicos, como se pudo ver en la prueba microquímica de SEM.
- La recuperación de oro nativo en celda Hallimond, es coherente con los resultados de ángulo de contacto, medido sobre la placa de oro. De tal forma que el uso de DTP desarrolla más hidrofobicidad y a su vez más recuperación bajo las mismas condiciones de flotación.
- El tiempo de acondicionamiento, se destaca como una variable de importancia relativa en el proceso para alcanzar la hidrofobicidad de las partículas de oro nativo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto COLCIENCIAS 1118-454-22111 por su financiación.

REFERENCIAS

- [1] Allan, G.C. and Woodcock, J.T., A review of the flotation of native gold and electrum, *Minerals Engineering* 14, pp. 931-962, 2001.
- [2] Marsden, J. and House, I., *The Chemistry of Gold Extraction*, Ellis Horwood Limited, London, 1992.
- [3] Cordy, P., Veiga, M., Salih, I., Al-saadi, S., Console, S., Garcia, O., Mesa, L. A., Velásquez-López, P., Roeser, M., Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution, *Science of the Total Environment* 410, pp. 154-160, 2011.
- [4] Wenqian, W. and Poling, G., Methods for recovering fine placer gold, *Mineral Processing, CIMM Bulletin*, pp. 47-56, 1983.

- [5] Casas, B., A.E., Torem, M.L., Souza, M., Fundamental studies of *Rhodococcus opacus* as a biocollector of calcite and magnesite, *Minerals Engineering* 20, pp. 1026-1032, 2007.
- [6] Reyes, L., Herrera, R., Godoy, A., Sáez, C., Herrera, M., Ginocchio, R., Uso de biosólidos como reactivo espumante en procesos de flotación: caracterización física y química, *DYNA*, 167, pp. 66-73, 2011.
- [7] Chau, T.T., Bruckard, W.J., Koh, P.T.L., Nguyen, A.V., A review of factors that affect contact angle and implications for flotation practice, *Advances in Colloid and Interface Science*, 150, pp. 106-115, 2009.
- [8] Rosen, M.J., Surfactants and interfacial phenomena, Published by John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004.
- [9] Chau, T.T., A review of techniques for measurement of contact angle and their applicability, *Minerals Engineering* 22, pp. 213-219, 2009.
- [10] Teague, A., Deventer, J. and Swaminathan, C., A conceptual model for gold flotation, *Minerals Engineering*, 12, pp. 1001-1019, 1999.
- [11] Beattie, D.A., Kempson, I.M., Fan, L.J., Skinner, W., Synchrotron XPS studies of collector adsorption and co-adsorption on gold and gold:silver alloy surfaces, *Mineral Processing* 92, pp. 162-168, 2009.
- [12] Pearce, M.J.N., An overview of the use of chemical reagents, *Minerals Engineering* 18, pp. 139-149, 2005.
- [13] Dang-Vu, T., Jha, R., Wu, S., Tannant, D., Masliyah, J. and Xu, Z., Wettability determination of solids isolated from oil sands, *Colloids and Surfaces* 337, pp. 80-90, 2009.
- [14] Castro, S., García, J. A., Flotación, Fundamentos y Aplicaciones. DIMET, Universidad de Concepción, 2003.
- [15] Van Oss, C.J., Development and applications of the interfacial tension between water and organic or biological surfaces, *Colloids and surfaces B: Biointerfaces* 54, pp. 2-9, 2007.
- [16] Fuerstenau, M.C. and Han, K., Principles of Mineral Processing. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. (SME). Littleton, Colorado, USA, 2003.
- [17] Lotter, N.O. and Bradshaw, D.J., The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation, *Minerals Engineering* 23, pp. 945-951, 2010.
- [18] Mendez, D.A., Gálvez, E.D. and Cisternas, L.A., State of the art in the conceptual design of flotation circuits, *Int. J. Miner. Process*, 90, pp. 1-15, 2009.
- [19] Giesbers, M., Kleijn, M., Cohen, M.A., The electrical double layer on gold probed by electrokinetic and surface force measurements, *Journal of Colloid and Interface Science* 248, pp. 88-95, 2002.