

Recuperación de minerales aurífero mediante flotación, provenientes del sector la Pangui, distrito minero Chinapintza – Ecuador



*Recovery of gold-bearing minerals through flotation, from the La Pangui
sector, Chinapintza mining district - Ecuador*

Cuesta Andrade Gregory Guillermo.¹, Cuenca Gualán David Isaac.², Granja Carrera Jenny Priscila.³ & Chicaiza Ortiz Ángel Fabian.⁴

Recibido: 10-02-2020 / Revisado: 15-03-2020 / Aceptado: 04-04-2020 / Publicado: 06-05-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1.1221>

This research work is divided into three phases, the same ones that serve to determine different metallurgical balances. The first phase includes grinding tests to obtain the desired grain sizes (84 μ m, 74 μ m and 67 μ m), later flotation tests are carried out with these sizes, finding the best grain size to be 84 μ m due to the efficiency of this recovery, 76.54% . The second phase consists of the variation of the pH of the medium in which the flotation takes place (8, 9 and 10), finding the best result at pH 10 with a yield of 88.19%. The third phase is performed with variations in the collector concentration (75g / ton, 50g / ton and 100g / ton) (Valladarez, 2018), resulting in the best recovery to flotation with the collector concentration of 100g / ton due to its performance, 76.54 %.

Keywords: Flotation, grinding, grain size, pH, metallurgical balances, collector, yield.

Resumen.

Este trabajo de investigación se divide en tres fases, las mismas que sirven para

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo Investigativo de Recursos Mineros e Ingeniería,, gregory.cuesta@epoch.edu.ec

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Grupo Investigativo de Recursos Mineros e Ingeniería,, david.cuencag@epoch.edu.ec

³Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, jenypriscil@hotmail.com

⁴Universidad Regional Amazónica Ikiam, Grupo Investigativo de Recursos Mineros e Ingeniería,, angel.chicaiza@ikiam.edu.ec

determinar distintos balances metalúrgicos. La primera fase abarca ensayos de molienda para obtener los tamaños de grano deseados (84 μ m, 74 μ m y 67 μ m), posteriormente se realizan ensayos de flotación con estos tamaños, encontrando como mejor tamaño de grano al de 84 μ m por el rendimiento de esta recuperación, 76.54%. La segunda fase consta de la variación del pH del medio en el que se desarrolla la flotación (8, 9 y 10), encontrando el mejor resultado en el pH 10 con un rendimiento de 88.19%. La tercera fase se realiza con variaciones en la concentración del colector (75g/ton, 50g/ton y 100g/ton), dando como resultado la mejor recuperación a la flotación con la concentración del colector de 100g/ton debido a su rendimiento, 76.54%.

Palabras claves: Flotación, molienda, tamaño de grano, pH, balances metalúrgicos, colector, rendimiento.

Introducción.

Entre los principales distritos mineros del Ecuador tenemos al Distrito Zamora, en el cual se encuentra el sector minero Chinapintza, ubicado en la provincia de Zamora Chinchipe, aquí encontramos la planta de procesamiento mineral evaluada, La Panguí.

Un problema en la práctica de la minería en Ecuador son las altas leyes que han permitido que se practique una minería artesanal basada en conocimientos empíricos, irracionales y sin medida ni si quiera tomando en cuenta el impacto ambiental que se produce; otro problema es la falta de cultura minera que tiene el Ecuador en cuanto a técnicas usadas que han sido muy perjudiciales para el medio ambiente debido a las sustancias utilizadas para recuperar ciertos minerales; otro factor negativo para la cultura minera del país es la falta de control o regularización por parte del estado (o entes reguladores) a estas prácticas, tanto para mineras artesanales como para pequeñas, medianas o grandes mineras.

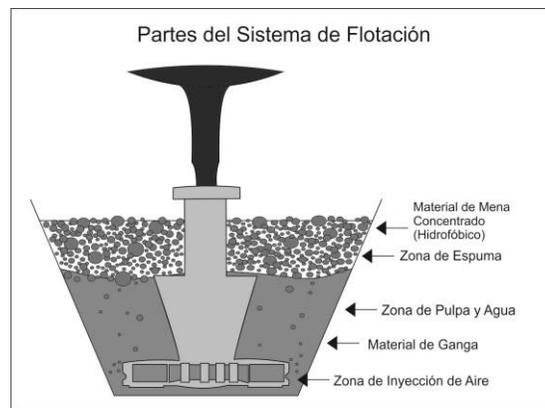
Por lo que el presente trabajo de investigación está dirigido a mejorar los procesos de la pequeña minería en el Sur-Oriente de Ecuador, mediante la aplicación de ensayos de flotación, con el fin de determinar la efectividad del proceso con material muestreado de la planta La Panguí-Chinapintza.

Sistema de flotación

El proceso de flotación consta de una cadena de eventos, involucran a las partículas (tanto del mineral de mena, como de ganga), reactivos, medio acuoso y equipo en el que se realiza el ensayo, si las condiciones se disponen como ideales se obtendrá una flotación eficiente (León, 2017).

Dentro de la celda de agitación las partículas del material sólido chocan contra las burbujas formadas gracias a un reactivo denominado espumante, las partículas llegan a la parte superior de la burbuja y se deslizan alrededor de ella, pero solamente las hidrofóbicas se quedarán ligadas a la burbuja, mientras que las partículas hidrofílicas caen al fondo del recipiente. En la ilustración 1 se puede distinguir dos zonas en el sistema de flotación, la zona de material o pulpa, que es donde las partículas hidrofóbicas chocan y son capturadas por las burbujas; y la zona de espuma o concentrado, que es donde las burbujas con las partículas adheridas pueden ser retiradas cuando el aire es inyectado a la celda de flotación (León, 2017)

Ilustración 1: Sistema de Flotación



Fuente: Cuenca, 2016

Reactivos de flotación

Colectores

Son reactivos que sirven para cambiar las propiedades hidrofílicas de ciertas partículas minerales por propiedades hidrofóbicas. Las moléculas colectoras son hidrocarburos, estos recubren la partícula y debido a su no polaridad, no forman enlaces de hidrógeno con el agua, y es entonces que la partícula mineral se vuelve hidrofóbica y puede ser atraída por las burbujas hasta la superficie. El proceso se divide en dos reacciones, primero se realiza un intercambio iónico y posteriormente se crean reacciones electroquímicas que involucran la transferencia de electrones de una sustancia a otra (Edumine, 2016). En este trabajo se utiliza los siguientes colectores:

- Collector Flominec 404-P Oil.- Usado para minerales de oro y minerales PGM (platinum group minerals) sulfurados, es un colector secundario de avance (León, 2017).

Xantato isopropilico de SODIO (Z-11).- Este producto se obtiene por la reacción del Alcohol Isobutilico, con el Bisulfuro de Carbono e Hidróxido de Sodio. Este Xantato ha llegado a ser el más ampliamente usado de todos los xantatos debido a su bajo costo y elevado poder colector (ARMAR, 2015).

pH

Dentro de la flotación el pH influye de manera muy importante para la absorción de un colector por el mecanismo de transferencia de electrones o reacciones electroquímicas (Appeals, 1917), si existe un aumento de pH, entonces se eleva la concentración de iones de OH-, esto retrasa o incluso detiene la absorción por parte del colector hacia la superficie de los minerales debido al desequilibrio químico. Los modificadores de pH son usados tomando en cuenta consideraciones económicas y las secuelas que pueden presentarse, los más utilizados, según (Barría & Valdebenito, 2008) en su catálogo “Implementación Sistema de Control Flotación Rougher”, son la soda cáustica (NaOH) y la cal (CaO), el segundo regulador usa sus iones de calcio junto a los iones de sulfato en el agua para precipitarse en forma de sulfato de calcio, estos modificadores aumentan el pH del medio en el que se realiza la flotación.

Activadores

Los activadores cambian las propiedades de la superficie mineral, provocando que las partículas de ciertos minerales floten conjuntamente con un colector, sin este activador el colector no sería eficiente. Para la activación del zinc, el activador más utilizado es el sulfato de cobre, mientras que para la activación de óxidos de cobre se utiliza sulfhidrato de sodio en pequeñas cantidades (Guartan & Tamay, 2003).

Metodología

En cuanto al muestreo del material de trabajo, se inicia con una recolección in situ, a todo el material se lo dispone en una lona plástica para su secado, trituración y homogenización. Posteriormente se procede a realizar la molienda, este proceso reduce el tamaño promedio de las partículas de una muestra para permitir una mejor liberación de minerales de interés en partículas individuales.

El procedimiento inicia cuando se colocan: 1 kilogramo de mineral, 1 litro de agua y la carga molturante (bolas de acero), se tapa y se da un tiempo predeterminado de molienda. Concluido el tiempo se realiza la descarga en un balde, en este se separa el cuerpo molturante de la pulpa, culminado esto se seca la pulpa y se cuantifica la misma (León, 2017). El procedimiento para el análisis granulométrico es pesar 250g de muestra que ha pasado por la malla 10#, se procede a realizar una granulometría en húmedo,

usando los tamices 35#, 120#, 200#, 230#, 325# y 400#. Los factores que influyen en este paso son, tiempo (7 min.), amplitud de intervalos de 15 segundos.

Posteriormente se seca el material retenido en los distintos tamices en la estufa a 105°C por 24 horas (Córdova, 2015). La granulometría seca, posteriormente, se la realiza con el material retenido y se usan los tamices: 10#, 18#, 35#, 60#, 120#, 200#, 230#, 325#, 400# y -400#; el paso final es el proceder a pesar el material retenido en cada uno de los tamices e ingresar la información al software MOLYCOP TOOLS 3.0, el cual gráfica y determina el D80 y D50 con la curva granulométrica.

La metodología a emplear en el proceso de flotación se basa en tres etapas sistematizadas, de las cuales se resaltan los valores más altos de cada una de estas para volver a ejecutarse en la siguiente fase de estudio, los ensayos se los realiza por duplicado para mayor confiabilidad en cada uno de los datos recogidos (León, 2017).

- *Primera Etapa.* - En esta fase varía el tamaño de grano para observar la cantidad de oro que se puede recuperar manteniendo fijos los valores de pH (10) y los valores de la concentración del colector de oro (100 g/Ton), el tamaño de grano variará en: material de malla 180 μm (León, 2017), la 200 μm y la 220 μm ASTM en respectivos ensayos.
- *Segunda Etapa.* - Habiendo obtenido los valores de la primera etapa se toma el más alto y se mantiene ese tamaño de grano (valor con mejor recuperación), así mismo la concentración del colector de oro (100g/Ton), la variable en esta fase es el pH del medio líquido, el mismo que varía en: 9; 10 y 11 (León, 2017).
- *Tercera Etapa.* - Los valores obtenidos en la fase anterior son evaluados y al mismo tiempo se toma el rendimiento más alto para mantener las condiciones de pH y de tamaño de grano para solamente variar la concentración del colector, el mismo que varía en cada ensayo en: 50 g/Ton; 75 g/Ton y 100 g/Ton (León, 2017).

Previamente se realizan los cálculos para la dosificación de los reactivos. El proceso inicia al pesar los reactivos a usar en vasos de precipitación en la balanza digital y aforar cada uno a 100 ml en los balones de aforo, posteriormente se coloca los milímetros de cada solución preparada necesarios en las probetas y tenerlos listos para ingresarlos a los tiempos indicados.

Se ingresa 750 gramos del material junto a 1500 ml de agua a la celda de flotación para una apropiada mezcla y se mide el pH para modificarlo con CaO; se ingresa el silicato de sodio y se siguen las indicaciones de la tabla a continuación para ingresar los reactivos el esquema predeterminado:

Fase 1

- Variable: Tamaño de grano
 - Malla #180.
 - Malla #200.
 - Malla #220.
- Constantes
 - pH: 10.
 - Concentración del colector: 100 g/ton.

Fase 2

- Variable: pH
 - 9.
 - 11.
- Constantes
 - Tamaño de grano: Mejor resultado de flotaciones anteriores.
 - Concentración del colector: 100 g/ton.

Fase 3

- Concentración Colector
 - 50 g/ton.
 - 75 g/ton.
- Constantes
 - Tamaño de gano: Mejor resultado de flotaciones anteriores.
 - pH: Mejor resultado de flotaciones anteriores.

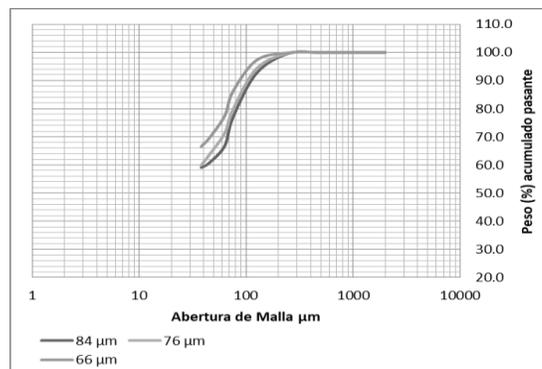
Culminado cada uno de los acondicionamientos se procede a abrir el paso del aire para poder recoger con una espátula la espuma resultante en un recipiente, eso se realiza en cada una de las fases separando el material concentrado del relave, así mismo antes de cada uno de los acondicionamientos se mide el pH para agregar cal en el caso de que sea necesario; una vez separados el concentrado y el relave se los lleva a la estufa a ser secados, homogenizados y preparados para el análisis al fuego.

Para determinar las cantidades de metales como oro y/o plata se utiliza la técnica analítica Fire Assay, la cual determina estas cantidades con el uso de elevadas temperaturas y reactivos fundentes. En cuanto a la fusión, consiste en separar los metales preciosos de otros componentes de la mena por medio de un metal colector, que en esta ocasión es el plomo, se somete la muestra a 1000°C de temperatura.

Resultados y análisis

Se realizaron 5 diferentes moliendas con distintos tiempos (14, 16, 18, 20, y 22 minutos) para obtener el tamaño de grano requerido, los datos presentados en la ilustración 2 son los tamaños de grano y los números de malla obtenidos en cada una de las moliendas. Los resultados arrojados son representados con el programa Molycop Tools 3.0.

Ilustración 2: Curva Granulometría



Fuente: Cuenca, 2016

Se observa en la ilustración 2 que a mayor cantidad de tiempo en el molino de bolas menor es el tamaño de grano que se obtiene, el ensayo 1 de 14 minutos tiene un D80 de 89 μm, el mismo que no se encuentra dentro de los rangos necesarios para este trabajo de investigación, así mismo el ensayo 4 que comprende un D80 de 72 μm; los tiempos necesarios para obtener los valores de granulometría requeridos en la metodología de este trabajo son 16 minutos (D80 = 84 μm), 18 minutos (D80 = 76 μm) y 22 minutos (D80 = 66 μm), puesto que los números de malla cumplen con los objetivos previamente citados.

El cálculo de ley de cabeza se lo realizó mediante análisis al fuego previamente explicado, los ensayos fueron tres, esto para que no exista mayor margen de error y el

dato final sea confiable, la ley de oro resultó 6.61 g/ton, mientras que la ley de plata es de 38.11 g/ton, los mismos datos que se pueden comparar con los obtenidos en trabajos anteriores sobre este mismo tipo de lote de material (Córdova, 2015). Como anteriormente se encuentra explicado, la fase 1 comprende el variar el tamaño de grano para concluir con la mejor concentración variando este factor, teniendo como constantes el pH y la concentración del colector, los ensayos se realizaron por duplicado para obtener datos confiables (Valladarez, 2018), así mismo el cálculo de leyes de oro y plata se realizan por análisis al fuego.

Tabla 1: Valores de Balances Metalúrgicos obtenidos Fase 1

Mal la	Ensa yo	Alimen (g)	Conc en (g)	Ley Con. Au (ppm)	Rel. (g)	Ley Rel. Au (ppm)	Bal. Metal. (mg de Au)	Rendim iento %
180	1	750.06	94.65	39.93	654.8 5	1.2 5	4.95 ≈ 4.60	76.36
180	2	750.02	99.08	38.33	650.2 7	1.0 0	4.95 ≈ 4.44	76.72
200	1	750.01	93.54	35.00	657.9 7	2.3 3	4.95 ≈ 4.80	66.14
200	2	750.02	94.85	35.77	654.0 1	2.3 3	4.95 ≈ 4.91	68.54
220	1	750.06	98.05	38.33	650.5 2	1.2 5	4.95 ≈ 4.57	75.92
220	2	750.02	100.42	36.67	645.8 4	1.2 5	4.95 ≈ 4.49	74.39

Fuente: Cuenca, 2016

Tabla 2: Valores de Balances Metalúrgicos obtenidos Fase 2

pH	# de Ensa yo	Alimen t. (g)	Conc en. (g)	Ley Con. Au (ppm)	Re l. (g)	Ley Rel. Au (ppm)	Bal. Metal. (mg de Au)	Rendim iento %
9	1	750	94.1 3	39.9 7	654.3 1	1.33	4.95 ≈ 4.63	75.96
9	2	750	102. 20	36.6 7	643.5 4	1.25	4.95 ≈ 4.55	75.71

10	1	750.06	94.65	39.93	654.85	1.25	4.95 ≈ 4.60	76.36
10	2	750.02	99.08	38.33	650.27	1.00	4.95 ≈ 4.44	76.72
11	1	750	106.58	34.17	638.51	1.99	4.95 ≈ 4.91	73.54
11	2	750	116.43	31.67	628.27	2.00	4.95 ≈ 4.94	74.54

Fuente: Cuenca, 2016

Tabla 3: Valores de Balances Metalúrgicos obtenidos Fase 3

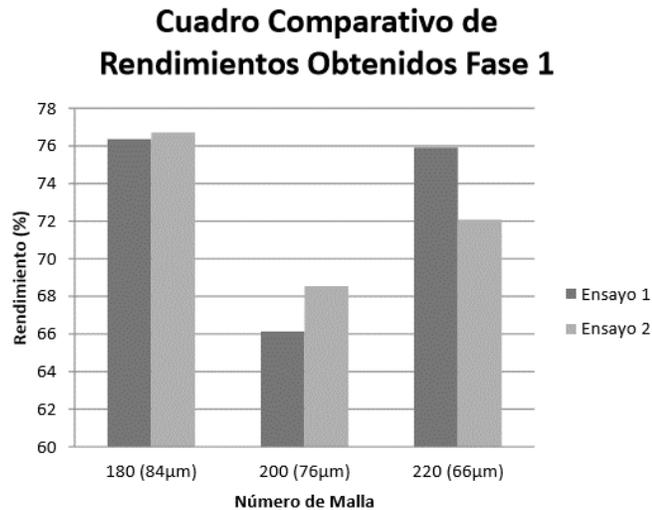
404-P	# de Ensayo	Aliment. (g)	Conc. (g)	Ley Con. Au (ppm)	Re l. (g)	Ley Rel. Au (ppm)	Bal. Metal. (mg de Au)	Rendim. %
50	1	750	113.12	31.61	634.66	1.67	4.95 ≈ 4.64	72.23
50	2	750	120.73	27.48	629.23	2.33	4.95 ≈ 4.78	67.02
75	1	750	112.51	33.31	635.40	1.66	4.95 ≈ 4.80	75.76
75	2	750	123.71	29.17	623.60	2.00	4.95 ≈ 4.86	72.90
100	1	750.06	94.65	39.93	654.85	1.25	4.95 ≈ 4.60	76.36
100	2	750.02	99.08	38.33	650.27	1.00	4.95 ≈ 4.44	76.72

Fuente: Cuenca, 2016

La recuperación del mineral para los tiempos de 18 minutos en molienda que comprende un tamaño de 76 μm y el de 22 minutos, con un tamaño de 66 μm son deficientes frente a la recuperación de material molido durante 16 minutos, con un tamaño de grano de 84 μm produce una mayor liberación del mineral de la ganga.

Estos valores se asemejan al trabajo de investigación de (Torres, 2013) puesto que los tamaños de grano son cercanos, la malla usada en este trabajo es la 180 mientras que en el de Torres se utiliza la malla 200. Como se indicó en la metodología se procede a tomar el valor más alto de los rendimientos que son 76.36% y 76.72 % para que sirvan como base para la fase dos y tres (Ilustración 3).

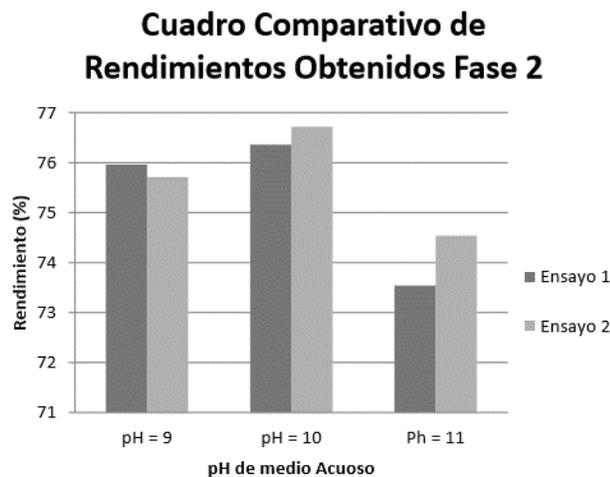
Ilustración 3: Cuadro Comparativo de Rendimientos fase 1



Fuente: Cuenca, 2016

Los valores de rendimiento pH 9 son de 75.96% y 75.71% y para pH 11 se obtiene 73.54% y 74.54%, los cuales son menores a los trabajados con un pH 10, con el que se produce un rendimiento de 76.36% y 76.72 %, estos resultados corresponden directamente al medio en el que se realizó la flotación, el regulador de pH, que en este caso es cal, funciona tanto como regulador del medio de pH y como depresor del oro si existe un exceso de este reactivo, este exceso se lo evidencia en el caso de los ensayos de pH 11 donde la recuperación es muy deficiente a comparación de los ensayos con pH 10, mientras que en los ensayos pH 9 la cal no brinda las condiciones para las adecuadas transferencias electroquímicas entre electrones de oro y los colectores, lo que concuerda con (Torres, 2013) cuyo pH óptimo es de 10.5 (Ilustración 4).

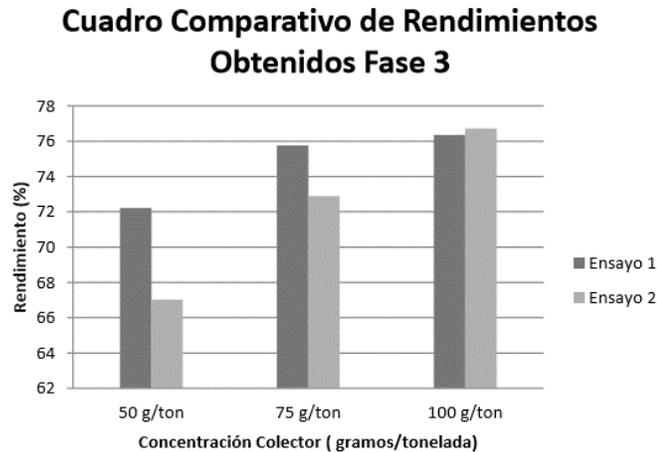
Ilustración 4: Cuadro Comparativo de Rendimientos fase 2



Fuente: Cuenca, 2016

Las concentraciones de 75 g/ton produce una recuperación mineral de 75.76% y 72.90 % mientras que las flotaciones con una concentración de 50 g/ton producen un rendimiento de 72.23% y 67.02%, estos valores indican una incompleta recuperación mineral puesto que con estas concentraciones no se obtiene un apropiado intercambio iónico y las burbujas de aire inyectado no arrastran el mineral de interés adecuadamente (Ilustración 5).

Ilustración 5: Cuadro Comparativo de Rendimientos fase 3



Fuente: Cuenca, 2016

El rendimiento de los ensayos de flotación con una concentración de colector 100 g/ton produjo que las partículas de oro realizaran un correcto intercambio iónico para convertirse en material hidrofóbico y por esto existe un mayor rendimiento a diferencia de las demás flotaciones con un promedio de recuperación de 76.54 % (León, 2017).

Conclusiones

- Las condiciones óptimas para la flotación selectiva del mineral de interés en este trabajo de investigación se presentan como:
 - a. Tamaño de grano o granulometría: 84 μ m.
 - b. pH: 10.
 - c. Regulador de pH: Cal 3.647 kg/ton.
 - d. Concentración de colector (Flominec 404): 100 g/ton.
 - e. Dilución de pulpa: 33%.
 - f. Velocidad de agitación en celda de flotación: 740 RPM.

- El análisis químico de esta investigación da como resultado una ley de cabeza igual a 6.61 g/ton de oro y 38.11 g/ton de plata.
- Mediante la fluorescencia de rayos X, gracias al análisis de los porcentajes másicos elementales que genera esta técnica analítica, se determinó que a medida que se separa el Sílice es mayor el rendimiento del mineral, en la más alta de las recuperaciones (84 μm , pH 10 y concentración de colector 100 g/ton) el concentrado posee un 16.4% de sílice y en la más baja de las recuperaciones (76 μm , pH 10 y concentración de colector 100 g/ton) el concentrado posee 20% de este compuesto.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios y nuestras familias por ser quienes nos generan las principales motivaciones para avanzar en la vida.

Con un gran aprecio y consideración, también agradecemos al Grupo Investigativo de Recursos Mineros e Ingeniería (GIRMI) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Sede Morona Santiago, por la confianza, recomendaciones y consejos brindados en el transcurso de la elaboración de esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Appeals, U. S. C. o. (1917). *Ore flotation: Opinion rendered by United States Circuit Court of appeals and dissenting opinion. Cases 2180-2181: Minerals Separation, Ltd., vs Miami Copper Company*: Mellon Institute of Industrial Research.
- ARMAR, D. T. (2015). Especificaciones Técnicas Xantato Isopropilico de Sodio (Z-11) Reactivos Nacionales S.A. - RENASA (Técnico, Trans.). La Paz - Bolivia: ARMAR.
- Calle, L. (2014). Caracterización geológica y mineralógica de la zona minera La Herradura, área minera de Chinapintza, provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. (Ingeniería en Geología y Minas Investigación), UPLT, Loja, Ecuador.
- Córdova, R. A. (2015). Estudio de las variables que influyen en la concentración gravimétrica en mesa vibratoria de un mineral aurífero proveniente del sector minero La Pangui, distrito Chinapintza. (Ingeniero en Geología y Minas), UTPL, Loja, Ecuador.
- Chávez, Á. P. (2008). Evaluación Geológica del Cuerpo Mineralizado Soledad. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

- Cuenca, D. I. (2016). Flotación del mineral del sector La Panguí, en el distrito minero Chinapintza (Ingeniero), UTPL, Loja.
- Edumine. (2016). Flotación 1-Fundamentos 2016, from http://www.edumine.com/xutility/html/template.htm?category=xcourse&course=xflotation_sp&session=doc0100.xml&level=next&lang=ES.
- León, B. S. (2017). Flotación del material de la Concesión MM, del condominio sur, Nambija (Bachelor's thesis).
- Litherland, M., Aspen, J. A., Jemielita, R. A., & Survey, B. G. (1994). The metamorphic belts of Ecuador: British Geological Survey.
- Ludeña, R. Á. (2012). Estudio Hidrometalúrgico por Cianuración de los concentrados de Flotación de los relaves provenientes de la minería artesanal del yacimiento Nambija. (Ingeniería en Geología y Minas), UTPL, Loja, Ecuador.
- Paladines, A. (2005). Los Recursos No Renovables del Ecuador Base para la Planificación y Ordenamiento. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Torres, D. R. V. (2013). Efecto del tamaño de grano, pH y tipo de colectores en la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimineto minero Nambija. (Ingeniero Químico), UTPL, Loja.
- Valladarez, F. B. (2018). Flotación del mineral de mina de la Pituca II, Sector Zamora (Bachelor's thesis).

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Gregory Guillermo, C. A., David Isaac, C. G., Jenny Priscila, G. C., & Chicaiza Ortiz, Ángel F. (2020). Recuperación de minerales aurífero mediante flotación, provenientes del sector la Pangui, distrito minero Chinapintza – Ecuador. *ConcienciaDigital*, 3(2.1), 80-93.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1.1221>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.

