

APPLICATION OF THE FLOTATION FOR THE EVALUATION OF THE LEACHING OF GOLD IN THE LEACHING CIRCUIT BY CYANIDATION

Christopher Dennis Nakahodo Nakama¹, Julián Diaz-Ruiz²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. christopher.nakahodo@newmont.com

²Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú., julian.diaz@upn.edu.pe

ABSTRACT

Laboratory tests using sodium cyanide leaching and flotation techniques were performed to determine how to extract the most Gold from a sulphide ore with around 0.2% copper content. Since the sulfide ore was found in the transition zone between oxidized ore and sulfides, it was proposed to carry out flotation to recover the greatest amount of copper and thus obtain a tailing with a lower copper content that is below 0.1%. Two parallel tests were proposed to evaluate the extraction of gold in the cyanide leaching circuit, test 1 consists of carrying out a baseline leaching (mine mineral) and test 2 starts with flotation and tail (tailings) from flotation perform cyanide leaching. NaCN leaching tests were performed on the mineral, obtaining a final extraction of 74.52%. A serial test was also carried out that consisted of differential flotation to remove the copper present and then the remnant of the mineral was leached with NaCN, obtaining a total gold extraction of 84.37%.

Keywords: Leaching, flotation, tailings, extraction.

APLICACION DE LA FLOTACION PARA LA EVALUACION DE LA LIXIVIACION DE ORO EN EL CIRCUITO DE LIXIVIACION CON CIANURO

Christopher Dennis Nakahodo Nakama¹, Julián Diaz-Ruiz²

¹ Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú. christopher.nakahodo@newmont.com

² Universidad Privada del Norte (UPN). Cajamarca, Perú., julian.diaz@upn.edu.pe

RESUMEN

Se realizaron pruebas de Laboratorio utilizando técnicas de flotación y lixiviación con cianuro de sodio para determinar cómo extraer la mayor cantidad de Oro de un mineral sulfurado con un contenido de Cobre de aproximadamente 0.2%. Dado que el mineral sulfurado se encontraba en la zona de transición entre el mineral oxidado y los sulfuros, se propuso realizar una flotación para recuperar la mayor cantidad de Cobre y así obtener un relave con un contenido de Cobre menor que se encuentre por debajo de 0.1%. Se propuso dos pruebas paralelas para evaluar la extracción de Oro en el circuito de lixiviación con cianuro. La prueba 1, consistió en realizar una lixiviación de línea base (mineral de mina) y la prueba 2, inicia con una flotación y cola (relave) de la flotación realizar una lixiviación con cianuro. Al mineral se le realizaron pruebas de lixiviación con NaCN, obteniendo una extracción final de 74.52%. También se realizó una prueba en serie que consistió en flotación diferencial para recuperar el Cobre presente y luego se lixivió la cola (relave) con NaCN, obteniendo una extracción total de Oro de 84.37%.

Palabras clave: Lixiviación, flotación, residuos, extracción.

I. INTRODUCCIÓN

La minería al ser una actividad no renovable por lo cual durante la extracción del mineral del yacimiento los óxidos se terminan y se llega a la zona de Sulfuros, este tipo de minerales presentan contenidos de Au y Cu. El Cu dificulta la lixiviación de Au por lixiviación con NaCN debido a que aumenta el consumo de Cal y NaCN aumentando los costos de producción de Au. [1].

El mineral utilizado es denominado como sulfuro ya que se encuentra en la zona de transición de minerales oxidados a minerales sulfurados. Estas zonas cuentan con una mineralización diversa dentro de los cuales podemos encontrar: calcopirita, enargita bornita covelina, piritita,

arsenopirita, esfalerita, entre otros y además de contar con minerales oxidados de oro. [1, 2].

Las pruebas se realizaron a nivel laboratorio desarrollando un esquema de concentración de minerales de cobre mediante la flotación, obteniendo concentrados de cobre y el relave de flotación con cobre por debajo de los 1000ppm para ser enviado a cianuración para recuperar la mayor cantidad de oro posible. [1, 7].

Se realizó un esquema de trabajo con una prueba de flotación diferencial de sulfuros que consistió en recuperar uno o más especies mineralógicas, dejando en los relaves otras especies deprimidas por reactivos específicos. El diagrama de flujo, combinación de reactivos químicos y puntos de adición de los mismos se muestra en la figura N° 1.

El diseño de trabajo de la prueba de flotación de la figura 1, con la finalidad de desarrollar una flotación lenta o selectiva debido a que la presencia de fierro por ser un mineral transicional se activa con facilidad; cabe mencionar también que la zona cuenta con la presencia de sales solubles que inhiben la acción de los depresores y colectores. [8].

La Flotación Diferencial se refiere a la recuperación de especies valiosas en concentrados independientes mediante el uso de reactivos que permiten activar y/o deprimir las especies mineralógicas. [8].

El concentrado Rougher, considerado como la etapa donde se debe de colectar la mayor cantidad de cobre posible para ser enviado a limpiezas y mejorar el grado o la ley y obtener un producto final comerciable. Aquí se consideraron los dos primeros concentrados. [8].

El concentrado Scavenger, considerado como la etapa de colección final de cobre que pudiera irse al relave final.

Se consideraron los concentrados 3, 4 y 5, estos debieran ser retornados a las primeras etapas de colección o a

limpiezas de acuerdo con su ley que pudieran tener y seguir recuperando el cobre. [8].

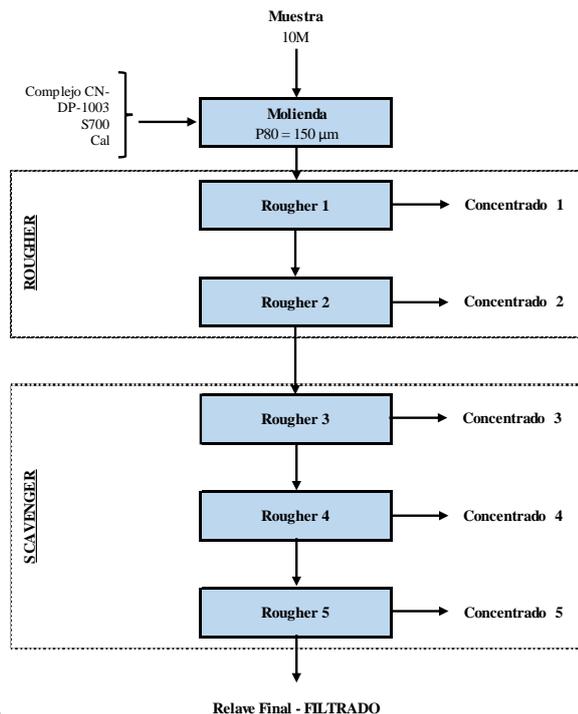


Figura 1. Diagrama de flujo de pruebas de flotación.

Para realizar la prueba de flotación se utilizaron los siguientes reactivos:

- Cal (Modificador de pH)
- Complejo NaCN – sulfato de Zinc (Depresor de Fe)
- DP-1003 (Depresor de sales solubles)
- MX-5160 (Colector selectivo de cobre)
- Isobutil Xantado de sodio (Colector)
- Aerofroth 76E (Espumante)

Equipos de trabajo

- Molino de Barras 8 x 10.
- Cuarteador de pulpa.
- Celda de flotación Denver.
- Kitasatos.
- Embudos.

Insumos

- Papel filtro.
- Frascos para solución.

II. METODOLOGÍA

La técnica Lixiviación de Oro de minerales oxidados utilizando NaCN se puede ser realizada en pilas realizando un chancado del mineral y/o por lixiviación en tanques en un circuito de molienda y lixiviación. Al tener

mineral con contenidos de cobre alrededor del 0.2% el mineral no puede ser tratado de la misma forma ya que eleva los consumos de NaCN y Cal, es por esta razón que se realiza la flotación para remover el Cu y así poder realizar a la cola la lixiviación con NaCN y así poder extraer el Au. Antes de realizar el proceso de preparación de la muestra se realizó el siguiente diagrama. [13].

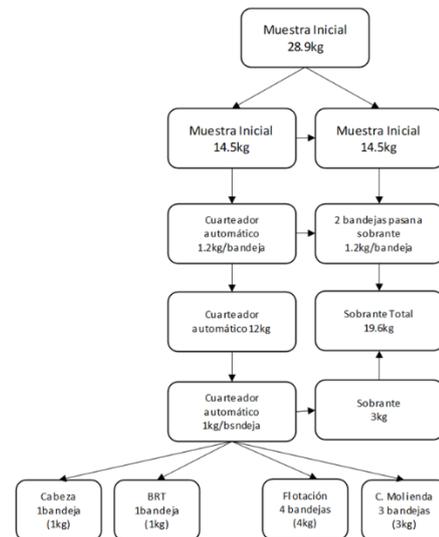


Figura 2. Diagrama de flujo de preparación de muestra.

Preparación de la muestra

La conminución es importante para realizar las pruebas tanto de flotación como de lixiviación por lo cual al realizar las pruebas en laboratorio se tomaron los equipos y las técnicas adecuadas para que el mineral se pueda procesar. [7].



Figura 3. Mineral para realizar las pruebas.

Secado y Chancado del Mineral

El secado se realizó a una temperatura de 40°C en un horno de secado esto debido a que el mineral es un sulfuro y así asegurar que no haya alteración en la muestra, el tiempo de secado fue de 48 horas obteniendo una humedad de 8.91%. [7].



Figura 4. Horno de secado de mineral.

Chancado de Mineral

Se realizó la secuencia de reducción de tamaño de 1 pulgada, ¼ de pulgada y 10M, esto se realizó para reducir la generación de finos. Para el proceso de chancado se utilizaron 03 tipos de chancadoras para reducción del tamaño de partícula de 1 pulgada hasta obtener un tamaño de partícula de P80 10M (2000 µm). [7].



Figura 5. Chancadora de quijas.

Homogenizado y cuarteo del mineral

Para el homogenizado se realizó un total de 5 repeticiones en el llenado de las bandejas y retornar el mineral de las bandejas de recepción hacia la tolva.

El cuarteo de la muestra se realizó según el diagrama de cuarteo obteniendo los siguientes pesos en kg.

Se utilizó el cuarteador Jones para obtener los siguientes pesos.

01 muestra de Cabeza	=	1kg
01 muestra BRT	=	1kg
03 muestras Curva de molienda	=	3kg
02 muestra Flotación	=	4kg



Figura 6. Cuarteador Automático de mineral, para minerales de tamaño de partícula menor a ASTM 10M (2000 µm).

Pulverizado de Mineral

La muestra de cabeza se pulverizó durante un tiempo de 4 minutos para asegurar que la muestra se encuentre en P80 200M (75µm), que es la granulometría aceptada para realizar los análisis de Au y Cu. [7, 14]

$$\% \text{ Pasante} = \frac{50gr - 3gr}{50gr} \times 100 = 94\% \dots \dots (1)$$



Figura 7. Olla de pulverizado.



Figura 8. Equipo de Pulverizado.

Lixiviación de Línea Base

Se realizó una prueba de línea base (mineral como llega del yacimiento), al mineral clasificado como Sulfuro, a una granulometría de $150\mu\text{m}$ a una fuerza de cianuro libre de 1000ppm durante un tiempo de lixiviación de 24 horas con un porcentaje de sólidos del 33%. [3, 5].

Los tiempos de monitoreo de la prueba se realizaron en las 1, 2, 4, 8 y 24 horas de lixiviación, para realizar el análisis de Au y Cu en la solución, de igual forma durante los monitoreos se realiza la medición del pH, adición de cal y Cianuro de Sodio (NaCN) para mantener los 1000ppm de cianuro durante la prueba.



Figura 9. Rodillo para realizar las pruebas de botellas.

Molienda y Flotación

Se realizó la molienda del mineral a distintos tiempos en el molino de barras de laboratorio para obtener una curva de molienda y así poder determinar el tiempo óptimo para obtener una granulometría aproximada de $150\mu\text{m}$. Se realizó a los tiempos de 10, 15 y 20 minutos. [8, 10, 11, 14].

Se realizó una prueba de flotación para extraer el cobre presente en el mineral y de esta manera el mineral baje su contenido a menos de 0.1% de ley de cobre y posteriormente la cola pase a la etapa de lixiviación con cianuro. [8].

Los reactivos se adicionaron conforme a las etapas:

Acondicionamiento, Cal (Modificador de pH), Complejo NaCN – sulfato de Zinc (Depresor de Fe), DP-1003 (Depresor de sales solubles).

Flotación Rhouger, DP-1003 (Depresor de sales solubles), MX-5160 (Colector selectivo de cobre) y Aerofrth 76E.

Flotación Scavenger, Isobutil Xantado de sodio (Colector), Aerofroth 76E (Espumante).



Figura 10. Molino de barras.



Figura 11. Celda de Flotación Denver.

Lixiviación de Cola de Flotación

Luego de finalizar la prueba flotación, la cola pasó por una etapa de lixiviación con cianuro de sodio [5], siguiendo el mismo procedimiento de la prueba de línea base hasta un tiempo de lixiviación de 96 horas.

III. RESULTADOS

Para un mejor entendimiento del proceso de pruebas en el laboratorio, se realizó el siguiente diagrama.

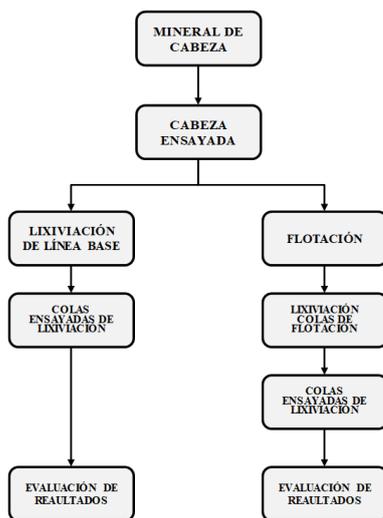


Figura 12. Diagrama de flujo de pruebas realizadas.

Análisis de Ley de Cabeza del Mineral

Se determinó en la muestra una ley de Au de 4.300 g/t y de Cu 2260 g/t. Los resultados de Au y Cu cianurado fueron de 3.042 y 1980 g/t respectivamente. [13].

Tabla 1. Resultados análisis de mineral de cabeza.

Muestra	Au g/t	AuCN g/t	Cu g/t	CuCN g/t	SS %
Mineral	4.300	3.042	2260	1980	0.458

Prueba "A"

Lixiviación de mineral – Línea Base

El pH inicial del mineral fue de 3.72 y se mantuvo durante la prueba a partir de la primera hora a 9.90 y en las horas 2 hasta las 24 horas en un rango de 10.4 a 10.6. La adición acumulada total durante la prueba de cal fue de 7.486kg/t y la adición de cianuro de sodio de 5.406kg/t. [14].

La lixiviación de línea base nos muestra que en las primeras 8 horas de lixiviación ya se pudo extraer el 74.44% de Oro y el 65.87% del cobre, al cumplir las 24 horas de lixiviación las extracciones fueron de 78.68% de Oro y 72.95% de Cobre. [14].

Tabla 2. Medición de pH, adición de cal y cianuro de sodio.

Tiempo Horas	CN- libre Ppm	pH	NaCN mg	Cal mg
0	1000	8.3	1420.9	3734.0
1	16.35	9.90	1190.8	0
2	581.35	10.40	584.1	0
4	755.99	10.50	348.4	0
8	795.54	10.50	292.5	0
24	811.74	10.60	0	0

Tabla 3. Resultados de las soluciones en Au y Cu.

Tiempo horas	Au Ppm	Cu ppm	Extracción %		Muestra ml	Solución ml
			Au	Cu		
0	0	0	0	0	0	753.4
1	1.157	466.41	45.4	31.4	19.4	753.4
2	1.560	793.49	61.96	53.86	15.6	752.2
4	1.710	928.41	69.40	60.6	18.6	753.4
8	1.793	873.31	74.44	65.87	21.5	753.4
24	1.905	1037.08	78.68	72.95	0	751.9

Prueba "B"

Flotación de mineral

Molienda

Los resultados del P80 obtenido en las moliendas a tiempos de 10, 15 y 20 minutos se observan en la tabla 1.

Tabla 4. Resultado de P80 para realizar la curva de molienda.

Abertura, X µm	Tiempo, Y minutos
210.5	10.0
138.9	15.0
114.7	20.0

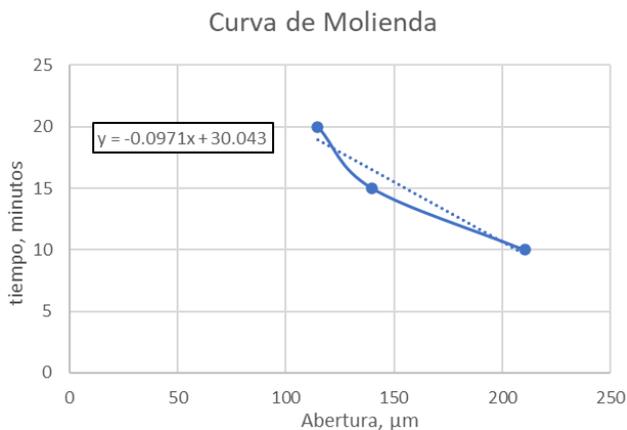


Gráfico 1. Curva de molienda.

Aplicamos la fórmula para un P80 de 150 µm y así determinar el tiempo de molienda. [14].

$$Y = -0.0971X + 30.043 \dots (2)$$

$$Y=15.5$$

Utilizamos el tiempo de molienda es de 15.5 minutos para la muestra que va a ingresar a la flotación.

Tabla 5. Resultados de análisis de mallas de molienda.

Malla	Abertura	Masa Retenida	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
70	212	58.22	13.33	13.33	86.67
100	150	38.54	8.33	22.16	77.84
140	106	28.46	6.52	28.68	71.32
200	75	19.05	4.36	33.04	66.96
270	53	17.15	3.92	36.97	63.03
325	45	6.72	1.54	38.51	61.49
-325	0	268.47	61.49	0	0
		302	100.00		

Tabla 6. Interpolación lineal obtenemos el P80 de la muestra con los siguientes resultados.

Abertura, X µm	Pasante, Y %
$X_0 = 212$	$Y_0 = 86.67$

X =	Y = 80
$X_1 = 150$	$Y_1 = 77.84$

$$X = X_0 + (X_1 - X_0) * \left(\frac{Y - Y_0}{Y_1 - Y_0} \right) \dots (3)$$

$$X = 212 + (150 - 212) * \left(\frac{80 - 86.67}{77.84 - 86.67} \right)$$

$$X = 165.6 \mu\text{m}$$



Figura 13. Equipo ROT-UP, utilizando mallas ASTM.

Flotación

Luego de realizar la molienda del mineral y con la pulpa a 33.2% de sólidos, el pH final fue de 10.09, el peso de la cola 1701.4 gr, tiempo total de la prueba de flotación fue de 14.28 minutos.

Tabla 7. Adición de reactivos durante la flotación.

Flotación Etapas	Tiempo Min	Cal mg	MX5160 µl	AE76E ml
Molienda	16.5	0	0	0
Acondicionamiento	3	4141	39.1	18.3
Concentrado 1	2	0	0	0
Concentrado 2	3	235	0	0
Concentrado 3	5	176	9.8	7.8
Concentrado 4	10	176	9.8	7.8
Concentrado 5	5	0	0	0

Tabla 8. Resultado de reactivos.

Muestra	Cal g/t	A-76E g/t	MX-5160 g/t
Mineral	4728.9	34.0	58.7

Tabla 9. Resultados de análisis de concentrados y cola.

Flot.	Peso gr	Peso Acum gr	Peso %	Cu g/t	Au g/t	Cu %	Au %
Conc1	85.58	85.58	5.03	0.957	9.7	21.3	11.3
Conc2	19.82	105.4	6.19	1.945	13.7	10.0	3.7
Conc3	18.5	123.5	7.26	3.124	15.4	14.7	3.8
Conc4	17.91	141.4	8.31	1.765	20.2	8.3	4.9
Conc5	10.44	151.8	8.92	1.731	14.9	4.7	2.1
Cola	1549.6	1701.4	91.08	0.091	3.3	36.7	69.9

El mineral de cabeza que ingresó con una de ley de cabeza de 4.300 g/t de Oro y 0.226 % de Cobre, se recuperó 1.49% de Cobre y la extracción de Oro fue de 12.5 gr/t con un peso de 151.8 gr. La recuperación final de la prueba fue de 27.1% de Oro y 61.6% de Cobre. Las colas ensayadas tienen una ley 3.300 gr/t de Oro y 0.09% de Cobre las cuales se utilizarán para la etapa siguiente cómo se muestra en la figura 2, que es la lixiviación de la cola de flotación. [14].

Lixiviación de cola de flotación

Del mineral ingresado se utilizó 500 gr para análisis de cabeza ensayada, 502.7gr para la prueba de lixiviación y el remanente como contramuestra. El cuarteo se realizó en el cuarteador Jones. La ratio liquido/solido fue de 1.5 con un peso de mineral de 502.7 gr y 754.05 gr de agua. [14].

72 y 96 horas esto para evaluar el tiempo máximo que el mineral debe ser lixiviado. Los resultados finales fueron para el mineral 498.8 gr y 755.8 gr de solución cianurada.

Tabla 10. Análisis de Cabeza que ingresa a la prueba de lixiviación de cola de flotación.

Muestra	Au g/t	Cu g/t	AuCN ppm	CuCN ppm
Mineral	3.300	910.0	2.836	762.0

La prueba de lixiviación a las mismas condiciones en fuerza de cianuro libre de 1000ppm, los monitoreos fueron de 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 y 96 horas esto para evaluar el tiempo máximo que el mineral debe ser lixiviado. El consumo de reactivos fue de 0.039 kg/t de cal y 6.40 kg/t de NaCN. Las extracciones de la lixiviación Oro fueron a las 24, 48, 72 y 96 horas de 74.52%, 76.85%, 79.08% y 84.37% respectivamente y para el cobre las extracciones a las 24, 48, 72 y 96 horas fueron de 65.35%, 68.54%, 70.48% y 75.59% respectivamente. [14].

Tabla 11. Cinética de lixiviación de Au.

Tiempo Horas	Peso gr	Ley Au ppm	Au mg	Au en muestr. mg	Au Total mg	Recup %
0	751.1	0	0	0	0	0
1	751.1	1.224	0.919	0.021	0.940	57.44
2	751	1.453	1.091	0.046	1.137	69.47
4	750.8	1.511	1.134	0.073	1.207	73.74
8	752.7	1.532	1.153	0.100	1.253	76.58
24	751.6	1.539	1.157	0.129	1.285	78.53
48	750.4	1.560	1.171	0.155	1.325	80.98
72	750.3	1.573	1.180	0.184	1.364	83.33
96	750.9	1.576	1.183	0.184	1.367	83.53

Tabla 12. Cinética de lixiviación de Cu.

Tiempo Horas	Peso gr	Ley Cu ppm	Cu mg	Cu en muestr. mg	Cu total, mg	Recup %
0	751.1	0	0	0	0	0
1	751.1	266.8	200.4	4.536	204.9	43.70
2	751	326.4	245.1	10.150	255.3	54.44
4	750.8	363.5	272.9	16.584	289.5	61.74
8	752.7	373.3	281.0	23.342	304.4	64.9
24	751.6	386.9	290.8	30.46	321.2	68.5
48	750.4	399.4	299.7	37.171	336.9	71.84
72	750.3	402.3	301.9	44.574	346.5	73.88
96	750.9	405.3	304.4	44.574	348.9	74.41

IV. DISCUSIÓN

Las pruebas que se realizaron mostraron la manera de cómo puede influenciar la flotación previa a la etapa de lixiviación con cianuro, realizando una comparación en los resultados de extracciones totales al final de cada prueba en Oro y Cobre extraídos. [14, 16].

La prueba de línea base se realizó a un tiempo de 24 horas esto debido a que un tiempo de lixiviación en la planta de molienda y lixiviación es de 24 horas y para la prueba de lixiviación de la cola de flotación se realizó hasta una máxima extracción de 96 horas para evaluar hasta cuánto tiempo se debería de extender la lixiviación. [14].

Cuando se realizaron las pruebas de lixiviación con cianuro es importante mantener el pH dentro del rango de 9.5 a 11.5 utilizando cal, esto es para evitar la generación del gas HCN-, de igual manera se realizó con la fuerza de cianuro libre el cual se debió de mantener lo más cercano a 1000ppm de cianuro libre el cual es importante para la cinética de lixiviación. [14].

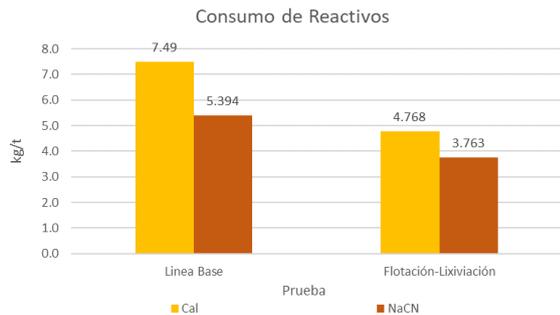


Gráfico 2. Comparación en el consumo de reactivos.

La cinética de lixiviación del Oro en la prueba de línea base se recuperó un total de 78.68% de extracción final. En las pruebas de Flotación se recuperó de Oro el 30.09% del total y en la etapa siguiente de lixiviación de la cola de flotación el Oro lixiviado a las 24, 48, 72 y 96 horas fue de 78.53%, 80.98%, 83.33% y 83.53% de Oro respectivamente. [14, 16].

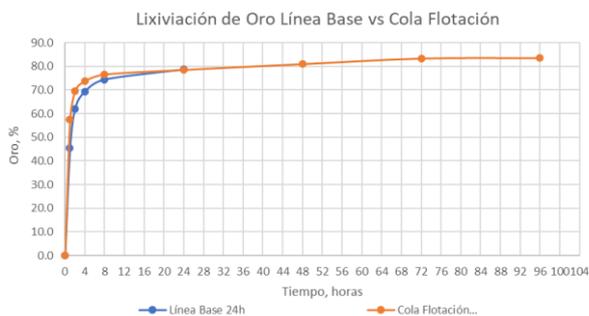


Gráfico 3. Extracción de Au en lixiviación en línea base vs cola de flotación.

La cinética de lixiviación del Cobre en la prueba de línea base se recuperó un total de 74.13% de extracción final. En las pruebas de Flotación se recuperó de Oro el 61.60% del total y en la etapa siguiente de lixiviación de la cola de flotación el Oro lixiviado a las 24, 48, 72 y 96 horas fue de 68.50%, 71.84%, 73.88% y 74.41% de Oro respectivamente. [14, 16].

V. CONCLUSIONES

La realizar el cálculo del tiempo óptimo de molienda para obtener un P80 de 150 μm , al realizar la molienda con el tiempo de 15.5 minutos se obtuvo un P80 de 165.6 μm , que representa una variación del 9.4%. [10] pp. 23-25.

El consumo de reactivos total es mayor al realizar la lixiviación del mineral a comparación de cuando se realiza la prueba en serie de flotación – lixiviación de cola de flotación. La lixiviación de línea base tiene un

36.3% más de consumo de cal y 30.2% más de consumo de Cianuro de Sodio.

La extracción de Oro en lixiviación a las 24 horas no tiene una diferencia significativa ya que tienen una variación de 0.15%, pero a la cola de flotación al realizar más horas de lixiviación se le pudo extraer hasta 6.85% de Oro.

En cuanto a la extracción de Oro total evaluamos el remanente en el mineral luego de finalizar las pruebas tanto de lixiviación del mineral transicional con un remanente de 0.842 g/t de Oro y de la prueba en serie de flotación – lixiviación de cola de flotación un remanente de 0.540 g/t de Oro, en el cual podemos observar que se logra disminuir teniendo una diferencia de 35.9% en el Oro remanente a favor de la prueba en serie de flotación – lixiviación de cola de flotación. [3, 5, 14].

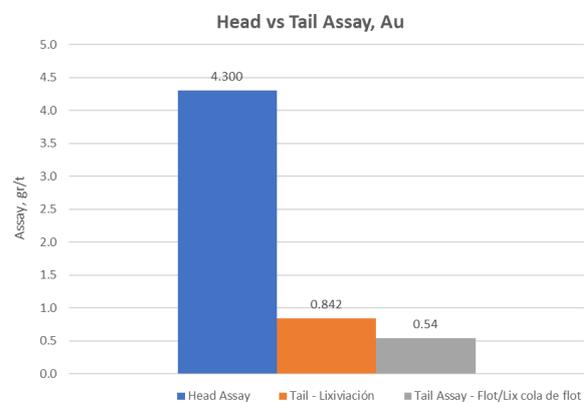


Gráfico 4. Análisis de Ley de Cabeza vs ley de Cola.

El Cobre que ingresó a las pruebas inició con una ley de 0.2%, al finalizar la prueba de flotación la cola presentó una ley de 0.09% obteniendo una ley de cobre aceptable para realizar las pruebas de lixiviación de cola de flotación.

La extracción de Cobre y Oro en flotación fue de 61.6% y 27.1% respectivamente, lo favorable es que al ser un concentrado tiene valor comercial [9].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.J. Yáñez Traslaviña, I.H. García, J.E. Pedraza, D. Laverde, "Caracterización de los minerales auríferos de la zona minera de San Pedro Frío (Bolívar-Colombia), para la selección de procesos de extracción".
- [2] Codelco, "Flotación, burbujas de cobre".
- [3] E. Chavez, A. Sarmiento, "Evaluación del Proceso de Lixiviación en Medio Básico para Minerales Oxidados de Cobre".
- [4] M. Logsdon, K. Hagelstein, T. Mudder, "El manejo del cianuro en la extracción del oro", pp 7-11.
- [5] T. Arias, D. Fernandez, Y. Sánchez, A. Lassera, "Influencia de la lixiviación en la recuperación de oro

en la Mina Oro-Barita de Santiago de Cuba”. pp 461-476.

- [6] Cochilco, Ministerio de Minería – Gobierno de Chile, “*Sulfuros primarios: desafíos y oportunidades*”, pp 32–36.
- [7] Instituto de Ingeniería para investigación y desarrollo Tecnológico, “*Protocolo de Preparación de Muestras Minerológicas para Análisis Físico, Químicos y Minerológicos*”, <http://www.fii.gob.ve/?p=4195>
- [8] H. Bueno, “*Flotación Diferencial de Galena, Calcopirita y Esfalerita*”, Universidad Nacional del Centro 2019. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-centro-del-peru/concentracion-de-minerales-i/flotacion-diferencial-concentracion-de-minerales/27081112>
- [9] V. Villasante, “*Evaluación metalúrgica a minerales de Cu y Mo para la determinación del proceso de flotación a nivel de laboratorio en Empresa Administradora Cerro S.A.C. Perú – 2019*”.
- [10] D. Zumarán, “*Evaluación de la influencia de las variables en la distribución granulométrica del producto de molienda por bolas de minerales mediante diseños experimentales*”.
- [11] O. Chávez, “*Incremento del tonelaje de tratamiento mediante la conversión del molino de barras Marcy 6.5’ x 14’ a molino de bolas manteniendo los resultados metalúrgicos – Cia Minera Huarón, 2017*”.
- [12] Y. Sánchez, “*Evaluación de parámetros de las curvas de calibración para optimizar la determinación de zinc y plata por absorción atómica en minerales sulfurados, 2018*”.
- [13] A. Ballester, L.F. Verdeja, J. Sancho, “*Metalurgia extractiva, Vol. 1, Fundamentos*”.
- [14] Ing. P.P. Zea CIP. 18590, “*Cálculo de Plantas Concentradoras*”, LIMA-PERU 1997.
- [15] LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology & 4th CLADI-CONFEDI: “*Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformation: Integration and Alliances for Integral Development*”, Hybrid Event, Buenos Aires – ARGENTINA, 2023.
- [16] Bach. Bckstem Sleter Chávez Medina, Bach. Sergio Ramírez Valverde, “*Recuperación de Oro y Plata por cianuración en minerales oxidados de matriz de Sílice, Breapampa-Ayacucho*”, Tesis UPN, Cajamar-Perú.