

Uso del Prol-40 en la flotación de menas minerales del distrito minero de Mazapil

Elorza-Rodríguez E.¹, Salazar-Hernández Ma. M.¹,
Salazar-Hernández Ma. del C.², Díaz-Madrigal F. J.³

¹Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, UG, 36030 Guanajuato, Gto.

²Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingenierías, Campus Guanajuato, IPN, 36275 Silao de la Victoria Gto,

³Proambiente del Bajío, Salamanca, Gto.

erelorza@gmail.com

RESUMEN

La selección de un esquema de reactivos y/o condiciones para un nuevo yacimiento requiere un programa de pruebas más extenso que la optimización de un esquema de concentración para una operación existente. Para esta última métodos de análisis estadísticos son mucho más adecuados para modificar u optimizar esquemas existentes, ello debido al menor número de variables y parámetros ya definidos.

Las menas de estudio, denominadas MA-1, MA-2 y MA-3, representan un depósito de pórfido de cobre del distrito de Concepción del Oro, Zac., erosionado hasta un nivel profundo, como lo demuestra el skarn aflorante. La mena MA-1 es un mineral de cobre (Cu 1.4% calcopirita) asociada a valores de oro y plata (1.88 -2.0 g/Ton). Presenta una alta concentración de pirita lo que hace necesario el uso de una gran cantidad de cal para su flotación. Además de pirita, contiene una alta proporción de finos, los que flotan o son arrastrados durante la colección de los valores de interés. La presencia de finos-arcillas en menas MA-2 y MA-3, es aún mayor que la observada en la primera, requiriendo que la molienda, a fin de ser eficiente se realice a un porcentaje de sólidos de 50. Considerando estas características en menas, se realizaron pruebas con el surfactante Prol-40, el cual pudiera tener un efecto inhibitor sobre las arcillas, actuando como cegante o bloqueador que impida su flotación, y mejore la calidad y recuperación de los metales de interés económico, particularmente el oro. En el caso de la mena MA-1, la adición de Prol-40 en molino en cantidad de 20 g/Ton, mostró un grado y recuperación de oro en concentrado primario de 9.04 g/Ton y 82.2%, respectivamente, contra 7.24 g/Ton y 72.2% sin Prol-40.

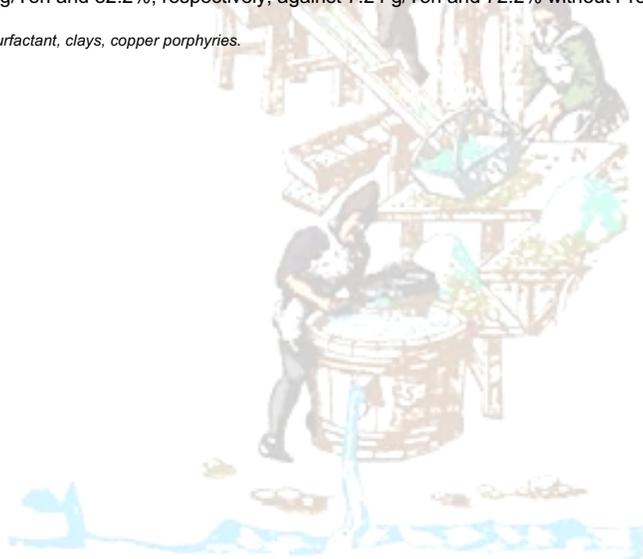
PALABRAS CLAVE: Surfactante Prol-40, arcillas, pórfidos de cobre.

ABSTRACT

Selection of a reagent scheme and/or conditions for a new deposit requires a more extensive test program than the optimization of a concentration scheme for an existing operation. For the latter, statistical analysis methods are much more suitable for modifying or optimizing existing schemes, due to the lower number of variables and parameters already defined.

Ores studied, named as MA-1, MA-2 and MA-3, represent a porphyry copper deposit in the Concepción del Oro district, Zac., eroded to a deep level, as evidenced by the outcropping skarn. The MA-1 ore is a copper mineral (Cu 1.4% chalcopirite) associated with gold and silver values (1.88 -2.0 g/Ton). It has a high concentration of pyrite, which makes necessary to use a large amount of lime for its flotation. In addition to pyrite, it contains a high proportion of fines, which float or are carried during the collection of the values of interest. The presence of fine clays in MA-2 and MA-3 ores is even greater than that observed in the first, requiring that the grinding, in order to be efficient, be carried out at a solids percentage of 50. Considering these characteristics in ores, tests were carried out with the surfactant Prol-40, which could have an inhibitory effect on the clays, acting as a blinding or blocking agent that prevents their flotation, and improves the quality and recovery of metals of economic interest, particularly gold. In the case of the MA-1 ore, the addition of Prol-40 in a mill in an amount of 20 g/Ton, showed a grade and recovery of gold in primary concentrate of 9.04 g/Ton and 82.2%, respectively, against 7.24 g/Ton and 72.2% without Prol-40.

KEY WORDS: Prol-40 surfactant, clays, copper porphyries.



INTRODUCCIÓN

El proceso de flotación nació como una aplicación industrial en 1904, pero no fue hasta 1940 que investigadores como Gaudin y Ward inician las investigaciones relacionadas con el proceso de flotación en las universidades. Hoy día esta última es el proceso de concentración más extensamente usado, y aunque persisten controversias con relación a algunas de teorías y fundamentos de esta ciencia, el desarrollo de máquinas y reactivos para las operaciones y aplicaciones de flotación ha sido exponencial (Fuerstenau, 2007).

Este estudio propone una alternativa de flotación selectiva para una mena de cobre asociada con valores de oro-plata, de una localidad de Zacatecas, asociada a altas concentraciones de hierro, en forma de pirita, así como una sustancial cantidad de finos-arcillas. Las menas de cobre-zinc de origen volcánico, se caracterizan por una composición mineralógica altamente variable, así como alteraciones relacionadas con su profundidad (Bulatovic, S.M.,2007).

El depósito mineral parece corresponder a un "skarn", aunque raro, ya que estos son más comunes para menas plomo-zinc, con altas concentraciones de oro y plata. La mena MA-1, contiene calcopirita como mineral de cobre, alcanzando una ley de 1%. El contenido de hierro parece alto, siendo básicamente pirita. La ausencia de minerales secundarios de cobre, p.e. calcocita o bornita, los cuales solubilizan durante la molienda; activando la esfalerita, debiese facilitar la flotación diferencial de esta mena. No obstante, el alto contenido de finos y arcillas crea problemas durante la flotación selectiva de la mena.

La presencia de finos-arcillas en la mena de cobre, la cual es poco común, afecta la flotación, consume los reactivos que son requeridos para la flotación de la calcopirita, haciéndose necesario una sustancial cantidad de cal tanto para deprimir la pirita como para inhibir los finos-arcillas. Además, debido a la complejidad de la mena es necesario establecer un esquema con reactivos depresores y cegantes, p.e.: PROL-40, sobresaliendo la necesidad de un alto consumo de cal (≥ 10 kg/Ton en molienda) a fin de poder flotar el cobre. La alta cantidad de esta última pudiera ser problemática si se tuviese zinc en la mena.

ANTECEDENTES

Los principales roles de la mineralogía es mantener las condiciones metalúrgicas de los procesos, de manera que los grados y recuperaciones sean los más altos técnica y económicamente posibles, así como dar solución a los problemas de planta. La mineralogía no sólo debe identificar las especies, sino que además deberá denotar: (a) naturaleza y abundancia de los sulfuros de fierro; (b) grado de oxidación de la mena; (c) naturaleza de la ganga: básica o ácida y (d) presencia o ausencia de minerales de cobre y naturaleza de éstos (Pineda y Aragón, 2011).

De acuerdo con la concentración de sulfuro de hierro (FeS₂/FeS) que contienen las menas de sulfuros polimetálicos, se les suele subdividir en: cero (0% FeS₂/FeS), bajo (7-10%), medio (15%) y alto contenido (>20%). Sugiriéndose entonces, como condiciones de flotación, las indicadas en la Tabla 1. Otras características por considerar durante la flotación lo son: los sulfuros de hierro siempre tienden a oxidarse en la etapa de molienda generando acidez y sales ferrosas; esto es particularmente cierto si el mineral contiene marcasita o pirrotita, los cuales se oxidan más rápidamente que la piritita y el efecto del incremento del contenido de hierro, requiere aumentar la dosificación de los depresores, pero disminuye la selectividad en los concentrados.

Tabla 1.- Condiciones de flotación sugeridas dependiendo de los porcentajes de hierro en mena [3].

Proporción Sulfuros de Hierro	Modificador pH (g/Ton)	Depresores (g/Ton) Molino)	Otros Reactivos (g/Ton)	Concentrados Obtenidos
Ninguno Circuito Pb Circuito Zn	Na ₂ CO ₃ 0 CaO 0-200	NaCN 0-50	CuSO ₄ 250-500	Pb: 75-80 Zn: 0.5-3 Zn: 52-62 Pb: 0.5-0.1
Bajo Circuito Pb Circuito Zn	Na ₂ CO ₃ 0-100 CaO 0-750	NaCN 0-50 ZnSO ₄ 0-100	CuSO ₄ 300-600	Pb 60-78 Zn 0.7-5 Zn 52-60 Pb 0.65-3
Medio Circuito Pb Circuito Zn	CaO 0-500 CaO 500-2500	NaCN 30-100 ZnSO ₄ 0-350	CuSO ₄ 500-800	Pb 60-78 Zn 2.5-7 Zn 52-60 Pb 0.65-3
Alto Circuito Pb Circuito Zn	CaO 200-500 ^p CaO 500-2500	NaCN 150-300 ZnSO ₄ 0-900	Na ₂ SO ₃ o NaHSO ₃ (En molino) 0-500 CuSO ₄ 600-1000	Pb 55-70 Zn 3-8 Zn 48-57 Pb 1-3

Con relación a los minerales con alta concentración de arcillas, sin duda existen reactivos y referencias bibliográficas que aborden su comportamiento y supresión, uno de estos reactivos lo es el silicato de sodio, la acción del cual puede resumirse de acuerdo con los siguientes mecanismos (Silva et al, 2012).



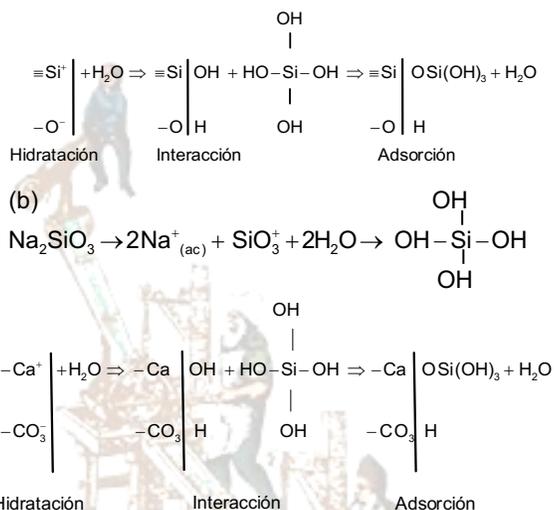


Figura 1.- Acción depresora del silicato de sodio sobre: (a) sílice o cuarzo (SiO₂), y (b) calcita (CaCO₃) (Silva et al, 2012).

Además de silicatos de sodio, existen otras propuestas que pueden posibilitar inhibir arcillas o finos, siendo una de estas el tensoactivo PROL-40, este ha sido probado en la flotación de metales preciosos con presencia de materia carbonosa diseminada sobre sílice, siendo entonces conveniente evaluarlo para inhibir la flotación-acarreo de arcillas durante la flotación de los valores de cobre.

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Mena de Prueba

Las muestras de estudio fueron proporcionadas por el departamento de Metalurgia de la unidad, en bolsas plásticas con un kilo de muestra por bolsa, los análisis químicos de estas muestras son listados a continuación, véase Tabla 2.

Tabla 2.- Resumen de los análisis químicos sobre las muestras de prueba.

DESCRIPCIÓN MUESTRA	g/Ton		Análisis %		
	Au	Ag	Pb	Cu	Zn
Compósito (MA-1)	0.82	30.1	n.d.	1.66	n.d.

R-1048 (MA-2)	1.76	54.0		1.39	
	1.54	44.5		1.49	
R-1051 (MA-3)	0.42	40.0		0.40	
	0.41	39.3		0.41	

Equipo y Reactivos de Prueba

Molino

Las moliendas se realizaron en un molino de bola de 8"x 8" con una carga de bola de 10.4 kilogramos de masa. La distribución del tamaño de bola no sigue la expresión matemática indicada para un molino de laboratorio, la falta de disponibilidad nos condujo a considerar como porcentajes sugeridos uno industrial, en donde solo se consideran tres o cuatro tamaños, la unidad de molienda es impulsada por banco de rodillos de velocidad variable, la Figura 2 muestra una fotografía de los elementos-equipos de molienda.



Figura 2.- Molino de laboratorio y banco de rodillos (Elorza, 2021).

Celda de Flotación

El estudio de flotación se realizó en una celda de flotación FLSmidth de aireación forzada, provista con los elementos de control y activación respectivos, tales como: botón de encendido, a un lado de este se localiza otro botón, el cual fija la velocidad del impulsor a una velocidad específica, comúnmente entre 500 a 700 rpm; mayores velocidades a esta causan vórtices o excesiva pérdida de pulpa, ver Figura 3.

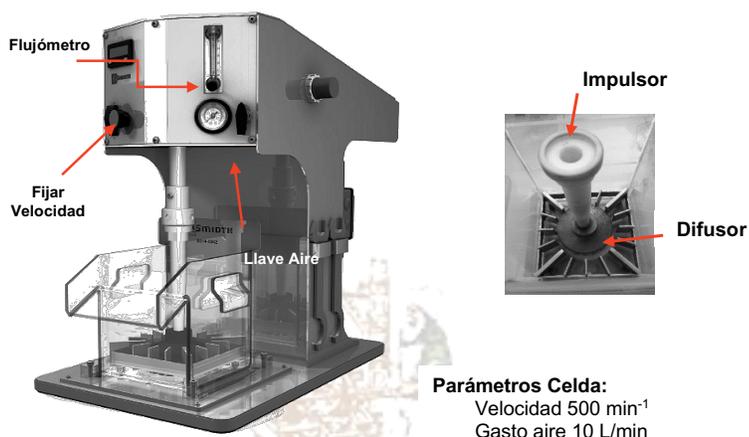


Figura 3.- Celda de flotación Essa-FTM101 y sus elementos (FLSmith): botón de encendido, botón velocidad, flujómetro, llave aire, celda-difusor e impulsor.

El flujo de aire se condiciona al tamaño de la celda, específicamente al área de celda, de manera que la velocidad de ascenso de aire en celda sea de 0.5-2.5 cm/s. Por ejemplo, para la celda de un litro con dimensiones transversales de 17.5 cm x 17.5 cm, con un flujo de aire 10 L/min la velocidad de ascenso de aire (J_g) es de 0.54 cm/s.

Equipos Auxiliares

Como equipos auxiliares de pruebas se contó con dos filtros de presión, el aire necesario para filtración se provee a través de un compresor marca WEMCO D55168, 200 PSI con motor de 1.8 HP. El secado de muestras se hizo en una estufa Devecor, la temperatura de secado en esta se encuentra fijada a 75 °C.

Reactivos

Los reactivos de prueba fueron provistos por el encargado de laboratorio de la unidad en frascos plásticos de 250 mililitros de capacidad, la Tabla 3 lista los reactivos de prueba y su acción en la flotación.

Metodología Experimental

Tanto las pruebas de flotación como de lixiviación son realizadas considerando diversos procedimientos estándar o normados: Flotación, *ASTM Coal Standar e ISO Committee on Coal Testing* (Crozier, R.D, 1992); Lixiviación de acuerdo a *Contreras, 1967, , McClelland 1998 y Muir et al 2016*. La descripción de

Comentado [U1]: Se recomienda usar “Pruebas Metalúrgicas”

estos procedimientos y sus mejoras pueden ser encontrados y consultados en trabajos previos de los autores Prieto,2013; Suárez,2006; Pérez, 2015; Suarez-Chavez, 2007 y García-Torres, 2013.

Tabla 3.- Listado de reactivos, su fórmula y su acción en el proceso de flotación.

REACTIVO	Fórmula	Descripción
Cal	Ca(OH) ₂	50.0 % CaO soluble, principalmente para deprimir pirita, y ajustar pH a 8.
Aerophina-3418	$ \begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{H}_3\text{C}_4 \text{---} \text{P} \text{---} \text{S} \text{---} \text{Na} \\ \\ \text{H}_3\text{C}_4 \end{array} $	Ditiofosfinato, colector fuerte y selectivo, usado tanto para metales preciosos, así como sulfuros de metales base, p.e.: galena, calcopirita, etc.
Colector T-169	T-169	Es un colector del tipo carbamato, se caracteriza por poseer un poder colector menor al de los xantatos, lo que pudiera ser favorable en una flotación selectiva.
Espumante	Alcohol-glicol	El espumante usado parece es una mezcla de alcohol y glicol, actualmente las mezclas son bastante frecuentes ello porque se busca tener una adecuada selectividad, así como una buena espuma que no rompa de manera prematura, y mantenga su carga de valores.
Colector XINA	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{S} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \text{---} \text{C} \text{---} \text{O} \text{---} \text{C} \text{---} \text{S} \text{---} \text{Na} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	Los colectores de sulfhidrilo son poco selectivos, pero económicos, por lo que se usan en aquellos casos que se requiere agotar valores que se traduzca en una lata recuperación.
Prol-40	n.d.	Es un surfactante que se utilizado en la flotación de materia carbonosa (10 µm) diseminada sobre sílice, con muy buenos resultados.

El total de las pruebas de flotación de cobre fueron abiertas, y tuvieron como finalidad maximizar la recuperación y grado de cobre usando las condiciones y parámetros de la prueba estándar. Para cada muestra de prueba: MA-1, rebajes MA-2 y MA-3, se realizaron dos pruebas, la estándar y una réplica usando **Prol-40**. Es de recalcar que en el caso de los rebajes, la dilución o porcentaje de sólidos usado durante la molienda se redujo de 62% a 50%, esto debido a que la alta concentración de arcillas hace que las bolas se peguen al casco del molino, lo que reduce la eficiencia de la molienda.

El diagrama de flujo de pruebas, así como la adición de reactivos en cada una de las etapas de prueba son resumidos en la Figura 4.

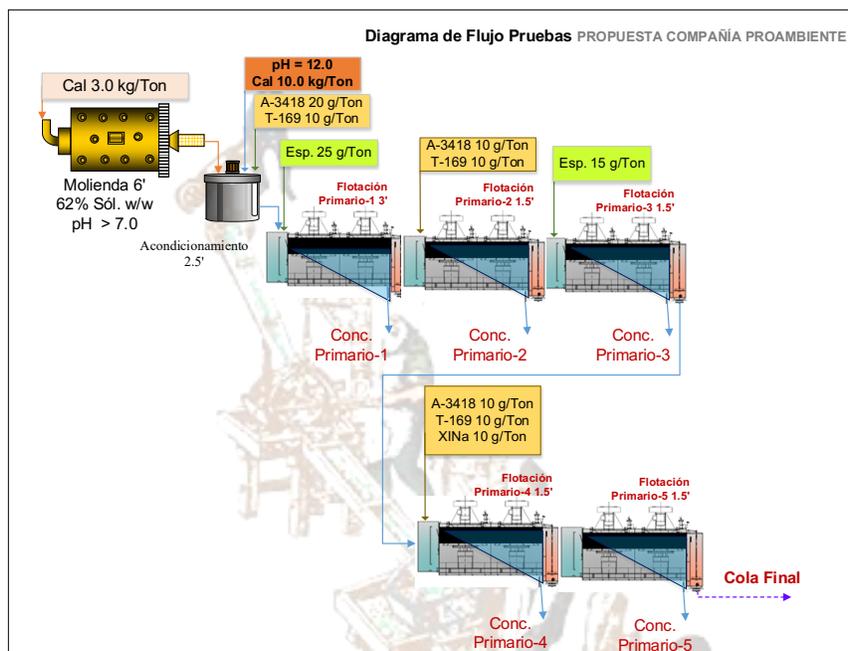


Figura 4.- Diagrama de flujo prueba estándar de la unidad.

Del total de pruebas realizadas (siete,7), solo una de ellas se hizo con limpias, agregándose, como en casos previos el Prol-40 en el molino. Con la finalidad de evaluar el impacto del Prol-40 en el grado y recuperación del concentrado de cobre, sobre una porción de mena del compuesto de mes se realizó una prueba con dos limpias, para ello los seis primeros minutos de flotación se consideraron como concentrado primario, y los restantes tres como agotativo

Procedimientos Analíticos

Los análisis de oro y plata se realizaron por volumetría y gravimetría, ensaye vía seca. Para estos últimos se pesan cantidades de 5 a 20 gramos de muestra, se funden en una mezcla de fundente, las masas fundidas se vacían y dejan solidificar. Solidificadas las mezclas, se conforman a cubos. Estos últimos son copelados hasta que solo queda en el fondo de las copelas un minúsculo botón de doré. Pesado el doré se aparta la plata con una disolución de HNO₃ (3:1 y 7:1), con las masas registradas antes y después del apartado se calculan las leyes de Au y Ag [15, 16].

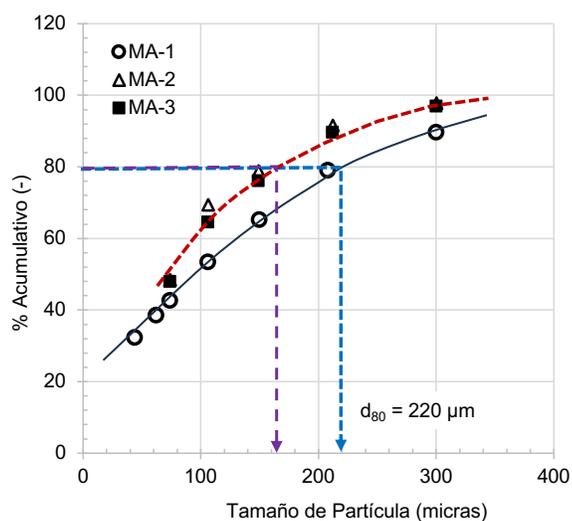
Las determinaciones elementales de Pb, Cu, Zn y Fe se realizaron vía absorción atómica de acuerdo con las normas 3500-PbB, -CuB, -ZnB y -FeB. Se pesa una determinada masa de muestra, 0.25 – 1.0 g, se digiere en caliente con ácidos (190-200 °C). Realizada la digestión, cada muestra se filtra y recibe en matraces de 100 mL (papel filtro Whatman 41 o 42), se afora y se agita. De cada muestra, se hacen dos diluciones, ello según la concentración esperada del metal en solución (1/10 o 1/20, etc.), finalmente la muestras concentradas y diluciones son analizadas en un espectrómetro de absorción atómica [17].

RESULTADOS

Los resultados obtenidos son resumidos a continuación, primeramente se presenta la distribución de tamaño de partícula obtenida para el tiempo de molienda definido para obtener P_{80} de 220 micras. Enseguida, se resumen los resultados de pruebas en el orden que se realizaron: (1) compósito de mes MA-1, (2) MA-2, (3) MA-3 y (4) prueba abierta con limpias sobre MA-1.

Tiempo de Molienda

Previo a las pruebas de flotación se definió el tiempo de molienda, para el caso el tamaño P_{80} de 220 micras quedo en seis minutos, la Figura 5 muestra la distribución de tamaño obtenida para el tiempo de molienda de seis (6) minutos.



Malla	Tamaño (micras)	Peso %	Acum. (-)
+ 50	300	10.4	89.6
+ 70	208	10.6	79.0
+ 100	150	13.8	65.2
+ 140	106	11.8	53.4
+ 200	74	10.8	42.6
+ 230	62	4.1	38.5
+ 325	44	6.2	32.3
- 325		32.3	0.0
		100.0	

Figura 5.- Tamaños de partícula de las menas de prueba: $P_{80\text{ MA-1}} = 220$ micras, $P_{80\text{ MA-2}} = 170$ micras y $P_{80\text{ MA-3}} = 170$ micras.

La Tabla 4 resume las condiciones de prueba. Además, los resultados de pruebas estándar y estándar + Prol-40, sobre compósito de mes MA-1, MA-2 y MA-3 son listados en Tablas 5, 6 y 7, respectivamente.

Tabla 4.- Listado de tiempos de molienda y flotación, así como tipo/consumo de reactivos.

ETAPA	pH	Tiempo (min)	CONSUMO DE REACTIVOS (g/Ton)					
			Ca(OH) ₂	A-3418	T-169	Esp.	XINa	Prol-40
Molienda	>7.0	6.0	3000					20.0
Acondicionamiento	12	2.5	10000	20.0	10.0	25.0		
Primario-1		3.0						
Primario-2		1.5		10.0	10.0			
Primario-3		1.5				15.0		
Primario-4		1.5		10.0	10.0		10.0	
Primario-5		1.5						

NOTA: El Pro-40 se agregó en molienda en una cantidad de 20 g/ton.

Tabla 5.- Resultados prueba estándar y estándar + Prol-40 sobre muestra MA-1.

PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)		LEYES (%)			
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00	1.61	30.1		1.66		
Concentrado Final	16.05	7.24	104.0		9.50		
Cola Final	83.95	0.53	16.0		0.16		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00						
Concentrado Final	16.05	72.16	55.4		91.9		
Conc. Agotativo	83.95	27.84	44.6		8.1		
Medios	100.00	100.0	100.0		100.0		

PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)		LEYES (%)			
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00	1.61	30.1		1.66		
Concentrado Final	16.05	7.24	104.0		9.50		
Cola Final	83.95	0.53	16.0		0.16		
Total	100.00						

Cabeza Ens.	100.00	1.63	28.8		1.48		
Concentrado Final	14.83	9.04	108.0		10.00		
Cola Final	85.17	0.34	15.0		0.24		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00	100.0	101.0		100.0		
Concentrado Final	14.83	82.2	55.6		87.9		
Conc. Agotativo	85.17	17.8	44.4		12.1		
Medios	100.00						

Tabla 6.- Resultados prueba estándar y estándar + Prol-40 sobre MA-2.

PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)			L E Y E S (%)		
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	0.00	1.76	54.0		1.39		
Concentrado Final	45.43	3.72	72.0		3.05		
Cola Final	54.57	0.12	39.0		0.15		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00						
Concentrado Final	16.05	96.3	60.6		94.4		
Conc. Agotativo	83.95	3.7	39.4		5.6		
Medios	100.00	100.0	100.0		100.0		

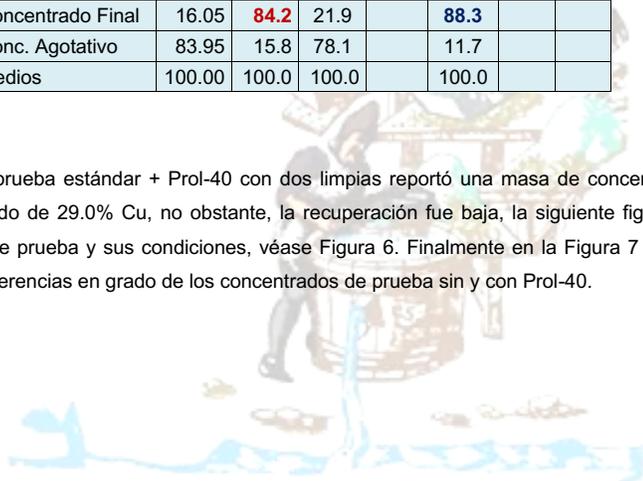
PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)			L E Y E S (%)		
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	0.00	1.54	44.5		1.49		
Concentrado Final	31.88	4.68	99.0		4.30		
Cola Final	68.12	0.07	19.0		0.17		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00						
Concentrado Final	16.05	96.9	70.9		92.2		
Conc. Agotativo	83.95	3.1	29.1		7.80		
Medios	100.00	100.0	100.0		100.0		

Tabla 7.- Resultados prueba estándar y estándar + Prol-40 sobre muestra MA-3.

PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)		L E Y E S (%)			
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	0.00	0.42	40.0		0.40		
Concentrado Final	19.58	1.84	48.0		1.80		
Cola Final	80.42	0.08	38.0		0.06		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00						
Concentrado Final	16.05	84.9	23.5		88.0		
Conc. Agotativo	83.95	15.1	76.5		12.0		
Medios	100.00	100.0	100.0		100.0		

PRODUCTO	Peso (%)	LEY (g/Ton)		L E Y E S (%)			
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	0.00	0.41	39.3		0.41		
Concentrado Final	19.19	1.79	45.0		1.90		
Cola Final	80.81	0.08	38.0		0.06		
Total	100.00						
PRODUCTO	Peso (%)	DISTRIBUCION %					
		Au	Ag	Pb	Cu	Zn	Fe
Cabeza Ens.	100.00						
Concentrado Final	16.05	84.2	21.9		88.3		
Conc. Agotativo	83.95	15.8	78.1		11.7		
Medios	100.00	100.0	100.0		100.0		

Los resultados de prueba estándar + Prol-40 con dos limpieas reportó una masa de concentrado de 23 gramos con un grado de 29.0% Cu, no obstante, la recuperación fue baja, la siguiente figura ilustra el diagrama de flujo de prueba y sus condiciones, véase Figura 6. Finalmente en la Figura 7 se ilustra de manera clara las diferencias en grado de los concentrados de prueba sin y con Prol-40.



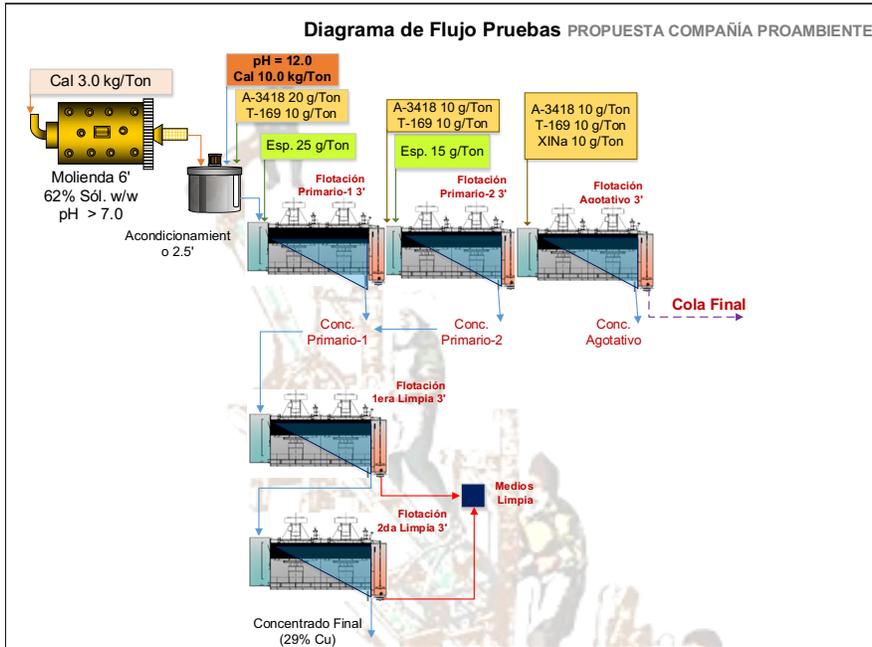


Figura 6.- Diagrama de flujo de prueba con dos limpieas, compuesto de mes.

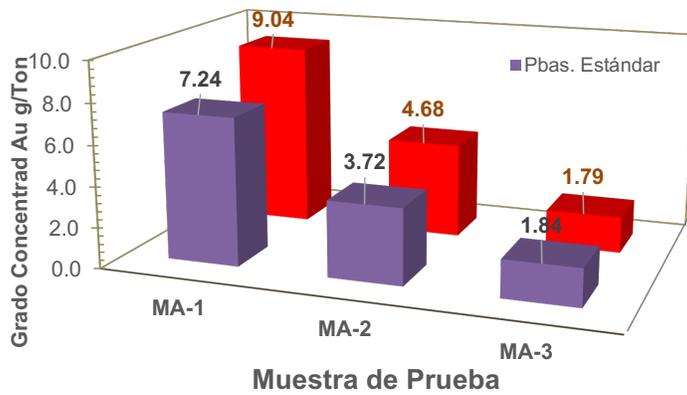


Figura 7.- Grados de concentrados de pruebas estándar y estándar+Prol-40.

CONCLUSIONES

Las porciones de muestra provistas para estas pruebas son menas de cobre con alta concentración de pirita y arcillas, estas últimas son más abundantes en los rebajes MA-2 y MA-3, haciendo necesario reducir el porcentaje de sólidos en molienda. Consistentemente, la adición de Prol-40 produce concentrados colectivos de mejor grado, las recuperaciones son similares o ligeramente menores, lo que sin duda es posible igual. En el rebaje MA-3 la diferencia es mínima, de hecho, puede decirse que no hay diferencia en los grados de una y otra prueba, no obstante debemos mencionar que este rebaje tiene una baja ley de cobre, solo 0.40%.

El surfactante Prol-40, ha mostrado efectos favorables en la flotación de menas de metales preciosos asociados a materia carbonosa p.e.: Peñasquito (2017) y Peñoles (2019), en esta última después de corroborarse las pruebas en laboratorio, se dio una campaña a nivel industrial, no obstante, dada la gran variabilidad de las concentraciones de alimentación es difícil hacer una valoración sin sesgo de los resultados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Francisco Javier Díaz Madrigal de PROAMBIENTE DEL BAJÍO, su apoyo y confianza para la realización de este trabajo, así como los precedentes realizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fuerstenau, D.W., *A Century of Developments in the Chemistry of Flotation Processing*, in *Froth Flotation, a Century of Innovation*, G.J.a.R.-H.Y. M. C. Fuerstenau, Editor. 2007, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.: Unite States of America. pág. pág.: 1 - 843.
2. Bulatovic, S.M., *Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ore*. 2007: Elsevier Science % Technology Books. pág.: 295-322.
3. Pineda, M.T.M. and A. Aragon, *Técnicas de caracterización aplicadas a la concentración de minerales*, in *Diplomado de Mineralurgia*, U.d. Guanajuato, Editor. 2011: Guanajuato, Gto. pág.: pág.: 1-30.
4. Silva, J.P.P., et al., *Identification of sodium silicate species used as flotation depressants*. Minerals & Metallurgical Processing, 2012. Vol. 29 (No 4), pág.: pág.: 207-210.
5. Elorza, E., *Preparación muestra de residuos de operaciones para pruebas*. 2021: Departamento de Ingeniería en Minas, Metalu.
6. Crozier, R.D., *Flotation, Theory, Reagents and Ore testing*. 1992, Oxford, England: Pergamon Press. 1-345.
7. Contreras, D., *Experimentación de Minerales de Oro y Plata por el Proceso de Cianuración*. 1967, México, D.F.: Comisión de Fomento Minero.
8. McClelland, G.E., *Testing of Ore*, in *Introduction to Evaluation, Design and Operation of POREVIOUS Metal Heap Leaching Projects*, I.P.G.H.y.J.E.K. Dirk J. A. van Zyl, Editor. 1988, Societey of Mining Engineers, Inc., Littleton, Colorado: Littleton, Denver, Colorado. pág. pág.: 61-67.

9. Muir, A., et al., *Retreatment of Gold Residuos*, in *Gold Ore Processing, Project Development and Operations*, M.D. Adams, Editor. 2016, Elsevier. pág. pag.: 709-728.
10. Prieto, M.J.D., *Cinética de Flotación de la Mena de Palmarejo y su Aplicación Industrial*, in *Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y geología*. 2013, Universidad de Guanajuato: Guanajuato. pág.: pág.: 1-151.
11. Suárez, E.B., *Recuperación del Au-Ag de unos Jales con Matriz Pirítica y Arsenopirita*, in *Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología*. 2006, Universidad de Guanajuato: Guanajuato. pág.: pág.: 1-100.
12. Pérez, F.J., *TRATAMIENTO DE UNA MENA REFRACTARIA DE ORO-PLATA ASOCIADA A CARBÓN*, in *Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología*. 2015, Universidad de Guanajuato: Guanajuato. pág.: pág.: 1-104.
13. E B Suárez-Chávez, et al. *XXVII CONVENCION INTERNACIONAL DE MINERIA, Veracruz, Ver.* in *Concentración y Extracción de los Valores de Oro-Plata Contenidos en unos Jales de Matriz Pirítica-Arsenopirítica*. 2007. Veracruz: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, A. C.
14. García-Torres, V., M.M. Salazar-Hernández, and E. Elorza-Rodríguez. *Memorias del XXI Congreso Internacional de Metalurgia Extractiva*. in *DESARROLLO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA UNA MENA DE AL TA LEY DE ORO 2013*. México, D. F.: Universidad Autónoma Metropolitana.

