

RECUPERACIÓN DE FÓSFORO CONTENIDO EN RELAVES DE HIERRO

L. Valderrama (1) J. Vergara (2), G. Lobos (3)

(1) Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de Atacama. Av. Copayapu 485; Casilla 240 Copiapó - Chile. lvalderr@gea.idictec.uda.cl.

(2) Compañía Minera del Pacífico S.A. (CMP). Brasil 1050, Vallenar - Chile

(3) Departamento de Metalurgia. Facultad de Ingeniería. Universidad de Atacama.

RESUMEN

En la planta de la Compañía Minera del Pacífico (CMP), miles de toneladas de relaves de mineral hierro son descartadas anualmente con una ley de 1,7% P; 11,6% de Fe, 9,9% de CaO y 39,2% de SiO₂. En base a estos antecedentes, se realizó un estudio a escala de laboratorio para recuperar el fósforo contenido en estos relaves, que se encuentran en forma de apatita; materia prima utilizada en la producción de fertilizantes. Los mejores resultados obtenidos en las pruebas de flotación fueron encontrados usando los reactivos: colector OS - 130 TF/NaOH, carbonato de sodio, silicato de sodio. En estas condiciones es factible recuperar hasta un 80% del fósforo contenido, sin operaciones previas de deslamado, ni concentración magnética y con un circuito convencional que comprende una etapa rougher, una cleaner y una recleaner.

1. INTRODUCCION

La Planta de Pellets de Huasco procesa aproximadamente 5 millones de toneladas por año de mineral de hierro. El proceso de concentración, trae como consecuencia que las colas de la Planta tengan un contenido de fósforo entre 1,6 a 1,8 % de fósforo (Dominguez 1981). Lo anterior implica que se eliminan alrededor de 17.000 toneladas de fósforo al año, en la forma de un compuesto de fósforo denominado apatita. Dado este hecho, la Compañía Minera del Pacífico determinó llevar a cabo un estudio de recuperación del fósforo contenido en las colas, con el objetivo de obtener un concentrado fosfórico para fertilizantes (Informe interno 1989).

La producción mundial de fosfatos se distribuye, según su origen en 75 % de roca sedimentaria marina; 20 % de roca ígnea y 5 % de guano. Los depósitos ígneos aportan con alrededor de un 15 % a la producción mundial de fósforo y su procesamiento es relativamente simple, molienda y flotación con ácidos grasos dando normalmente buenas leyes y altas recuperaciones (Osses 1987). La apatita está generalmente bien cristalizada con una superficie no porosa, lo cual da una mejor flotabilidad que las formas más amorfas asociadas a depósitos sedimentarios (Dantas y Adamian, 1987; Lima y Peres, 1994). Los depósitos sedimentarios aportan con alrededor de un 80 % de la producción de fosfatos. El fósforo aparece en forma de nódulos de hasta 15 a 20 mm de tamaño, en una ganga de arcillas, carbonatos y silicatos. La ruta de procesamiento dependerá del tipo de ganga. Estimaciones realizadas indican que las reservas identificadas y reconocidas como económicamente explotables alcanzan a 34.200 millones de toneladas de roca fosfatada, de las cuales podrían extraerse 9.000 millones de toneladas de P₂O₅. Los fosfatos que hay en Chile, son tanto de rocas sedimentarias, ígneas, como de guano (Valdebenito, 1997)

El elemento fósforo, distribuido ampliamente en la litósfera (0,12 %), no existe libre en la naturaleza. Combinado forma el fosfato de calcio o fosforita (Ca₂(PO₄)₃), el cloro o fluofosfato de calcio o apatita (F(PO₄)₃Ca₅; Cl(PO₄)₃Ca₅), el clorofosfato de plomo o piromorfita (Cl(PO₄)₃Pb₃) y otros. El fósforo se presenta bajo dos formas o estados alotrópicos; el fósforo ordinario, vivo o amarillo, y el fósforo rojo. Las propiedades químicas de ambos tipos de fósforos son parecidas y sólo difieren en las acciones del fósforo blanco son más enérgicas.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Caracterización de la muestra

La obtención de la muestra consistió en una campaña de muestreo por varios días al flujo de cola que se descarga al mar. Esta muestra fue filtrada, secada, homogenizada y cuarteada en paquetes para las pruebas de flotación. Al mismo tiempo se prepararon paquetes para análisis químico y granulométrico. La tabla I muestra el análisis químico de las colas

Tabla I - Análisis químico de las colas de planta de pellets

Elemento	Fe	P	S	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂
Porcentaje	11,6	1,71	2,33	9,9	8,12	7,3	0,63	39,2

El análisis granulométrico realizado a la cola indicó que el 53% de las partículas tenía un tamaño menor a 17 μm . Estudios previos indicaron que es factible recuperar el fósforo contenido en las colas de Planta de Pellets a través de flotación. Sobre estos antecedentes, se reiniciaron los estudios directamente a través de pruebas de flotación. El equipo utilizado para las pruebas de flotación, fue una celda Agitair, modelo LA-500 de 900 r.p.m., con un volumen de 1400; 2700 y 5000 cm^3 . Los reactivos utilizados fueron colector el OS-130 TF (BEROL NOBEL), como reactivo dispersante silicato de sodio y como reactivo espumante metil isobutil carbinol (MIBC). Por antecedentes bibliográficos, se utilizó además, carbonato de sodio como neutralizante de la dureza cálcica del agua (CMP, 1982).

Metodología de Trabajo

Se desarrolló un conjunto de pruebas preliminares, destinadas a determinar la influencia del carbonato de sodio en la recuperación metalúrgica del fósforo.

Para el desarrollo de las pruebas siguientes, se trabajó con un diseño experimental que permitió definir la influencia de las principales variables involucradas. El diseño elegido fue uno de tipo factorial 2^n con $n = 4$ y las variables estudiadas fueron, carbonato de sodio (0, 2500, 5000 g/t); porcentaje de sólido (29, 33 y 37%) dosis de colector (300, 400 y 500 g/t) y silicato de sodio (500, 750 y 1000 g/t). La respuesta considerada fue la recuperación metalúrgica de fósforo en la etapa rougher. Todas las pruebas fueron de tipo cinético, tomando muestras de concentrado a diferentes tiempos y analizadas por P, SiO_2 y CaO principalmente.

Luego de optimizadas las variables se procedió a determinar el mejor tiempo para cada etapa, utilizando el concepto de flotar hasta el momento en que la ley instantánea del concentrado sea igual a la ley de cabeza. La secuencia fue la siguiente, se determinó el tiempo de flotación para la etapa rougher. Se realizaron flotaciones con el tiempo óptimo y el concentrado obtenido se traspasó a otra celda de menor tamaño, ajustando el porcentaje de sólido y realizando flotaciones cinéticas de limpieza. El concentrado obtenido con el tiempo anterior, se traspasó a otra celda de menor tamaño, ajustando porcentaje de sólidos y realizando flotación cinética de limpieza. Al mismo tiempo los relaves de estas flotaciones fueron sometidos a flotaciones para determinar etapas rougher - scavenger, cleaner - scavenger, recleaner - scavenger, etc., si correspondían y para determinar los puntos de recirculación de los diferentes flujos. Definido el circuito abierto de flotación, se procedió a transformarlo en un circuito cerrado, utilizando el método de modelación propuesto por Agar y Kipkie (1978, 1980) llamado el método de los Split Factors.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La tabla II muestra el efecto del carbonato de sodio en la recuperación de fósforo. Se observa que uno de los factores que más afecta la recuperación, es la dureza del agua del proceso utilizada. Los análisis químicos realizados al agua determinaron una dureza cálcica de hasta 500 ppm.

Tabla II - Resultados de las pruebas para analizar el efecto del carbonato

Prueba	Flujo	Peso (%)	Ley		Recuperación	
			P	SiO_2	P	SiO_2
1	H	100	1,84	36,8	47,6	1,51
	C	7,3	10,5	7,7		
	T	92,7	0,92	39,9		
2	H	100	1,8	37,9	51,6	6,49
	C	13,2	7,0	17,8		
	T	86,8	1,0	39,1		
3	H	100	1,84	38,0	83,9	14,9
	C	25,0	5,3	21,9		
	T	75,0	0,34	41,7		
4	H	100,0	1,9	37,6	87,7	12,5
	C	23,1	7,0	20,5		
	T	76,9	0,3	43,1		

La explicación para este aumento de recuperación es que como el colector es un ácido graso saponificado con hidróxido de sodio, éste adquiere las características de un jabón y la dureza cálcica neutralizaría al anión del colector eliminando totalmente su actividad colectora.

De los resultados obtenidos del diseño experimental, se concluye que las variables más significativas en la flotación de fósforo es el Na_2CO_3 y el colector. Dado que el reactivo OS-130 TF tiene características colectoras y espumantes, se realizaron experiencias adicionales con diferentes dosis del espumante MIBC, concluyéndose que las características espumantes del OS-130 TF son suficientes, por lo cual se prosiguió el trabajo sin utilizar espumantes. Sobre la base de los resultados obtenidos, se definieron las condiciones para la realización de pruebas de flotación, tanto en la etapa rougher

como en las etapas posteriores, cleaner y scavenger para la simulación del circuito abierto. Los valores tomados para las pruebas fueron OS-130TF: NaOH 70:30 500 g/t; silicato de sodio 500 g/T; carbonato de sodio 5000 g/t y un porcentaje de sólido de 33%.

Definidas las condiciones de trabajo se realizaron cinéticas rougher con las condiciones optimizadas del diseño experimental. Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla III. Como metodología para la optimización de los tiempos de flotación de cada una de las etapas, se utilizó la propuesta por Agar (1978, 1980), basados en el criterio de maximizar la eficiencia de separación entre el producto útil y la ganga. De acuerdo con este criterio, el tiempo óptimo de flotación para la etapa rougher es de 16 minutos.

Tabla III - Resultados cinéticos de la etapa rougher de las colas

Tiempo (min)	Peso (%)	Ley (%)		Recuperación (%)	
		Fósforo	Sílice	Fósforo	Sílice
1	3,2	8,10	19,8	14,6	1,7
2	4,1	6,80	22,9	15,8	2,5
4	7,5	5,70	25,5	24,2	5,1
8	10,4	4,00	29,4	23,5	8,1
16	16,3	1,70	35,2	15,7	15,2
Relave	58,5	0,19	43,4	6,3	67,4

Para la etapa cleaner fueron realizadas tres flotaciones rougher, con tiempos de 16 minutos; se acumularon los concentrados y, sin agregar reactivos, se procedió a realizar la cinética para el concentrado rougher. El tiempo óptimo de flotación para cleaner es de 16 minutos. La tabla IV muestra que el mejor tiempo de flotación para la etapa cleaner es de 16 minutos.

Tabla IV - Resultados cinéticos de la flotación cleaner de las colas

Tiempo (min)	Peso (%)	Leyes (%)		Recuperación (%)	
		Fósforo	Sílice	Fósforo	Sílice
1	5,3	12,10	7,6	12,6	1,4
2	5,9	10,00	9,6	11,6	2,0
4	8,6	9,60	12,4	16,3	3,8
8	12,2	6,20	19,7	14,9	8,5
16	20,4	5,00	30,2	20,1	21,7
Relave	47,6	2,60	37,4	24,4	62,7

Sobre la base de estos valores, se definieron las condiciones para la realización de pruebas de flotación, tanto de la etapa rougher como de las etapas posteriores, cleaner y scavengers, para la simulación del circuito abierto.

Para la determinación del circuito abierto de flotación para cada una de las etapas, éste consistió en realizar dos flotaciones rougher en una celda de 5000 cm³, y luego reunir los concentrados en una celda de 2700 cm³ y realizar una nueva flotación, posteriormente estos concentrados se flotaron en forma cinética. Se descartaron los relaves de la flotación rougher, pero fueron realizadas flotaciones cinéticas cleaner y a los relaves de la flotación recleaner. Los resultados detallados de cada una de las flotaciones son mostradas en la figura 1.

Haciendo un análisis de los resultados, se determinó que los valores obtenidos para las leyes de los diferentes flujos permitían definir un circuito muy simple consistente en una etapa rougher, una cleaner y una recleaner. Para cerrar el circuitos se procedió a aplicar el método propuesto por Agar, y cuyo balance de materiales es mostrado en la figuras 2.

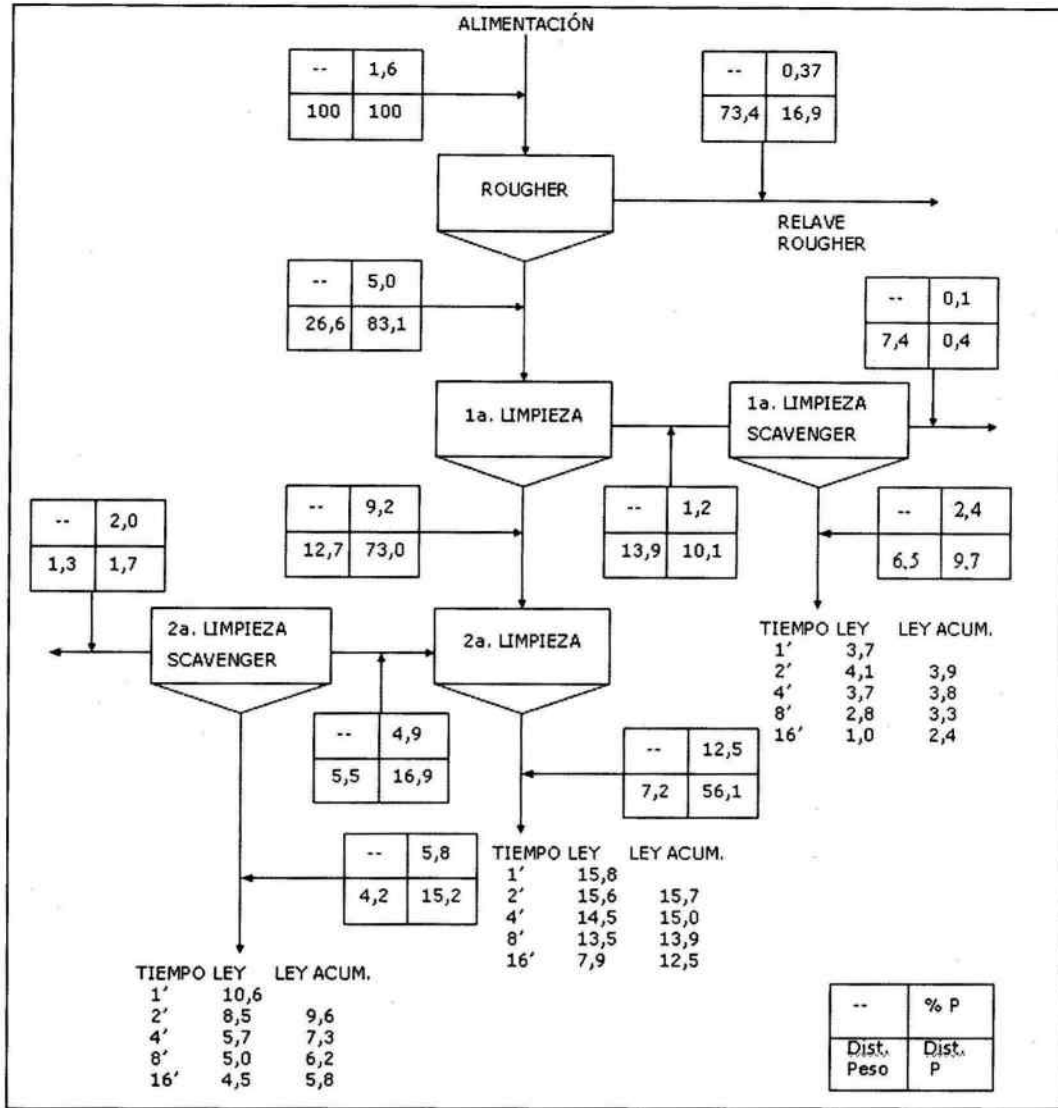


Figura 1 - Determinación del circuito abierto de flotación para las colas al Mar

4. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en este trabajo, las principales conclusiones son las siguientes:

- Es totalmente factible recuperar hasta un 80% del fósforo contenido en las colas que se eliminan al mar, flotándolas directamente, sin operaciones previas de deslamado, ni concentración magnética, y en un circuito convencional relativamente simple que comprende una etapa rougher, una etapa cleaner y una etapa recleaner.
- Los estudios a nivel de laboratorio dieron por resultados, que una de las principales variables que afectan al proceso es la dureza cálcica contenida en la pulpa o el agua de proceso. Se concluyó que el agregado de carbonato de sodio promueve su precipitación.
- La fórmula de reactivo que entregó los mejores resultados fueron colector OS-130 TF/NaOH 500 g/t; carbonato de sodio 5000 g/t; silicato de sodio 500 g/t.

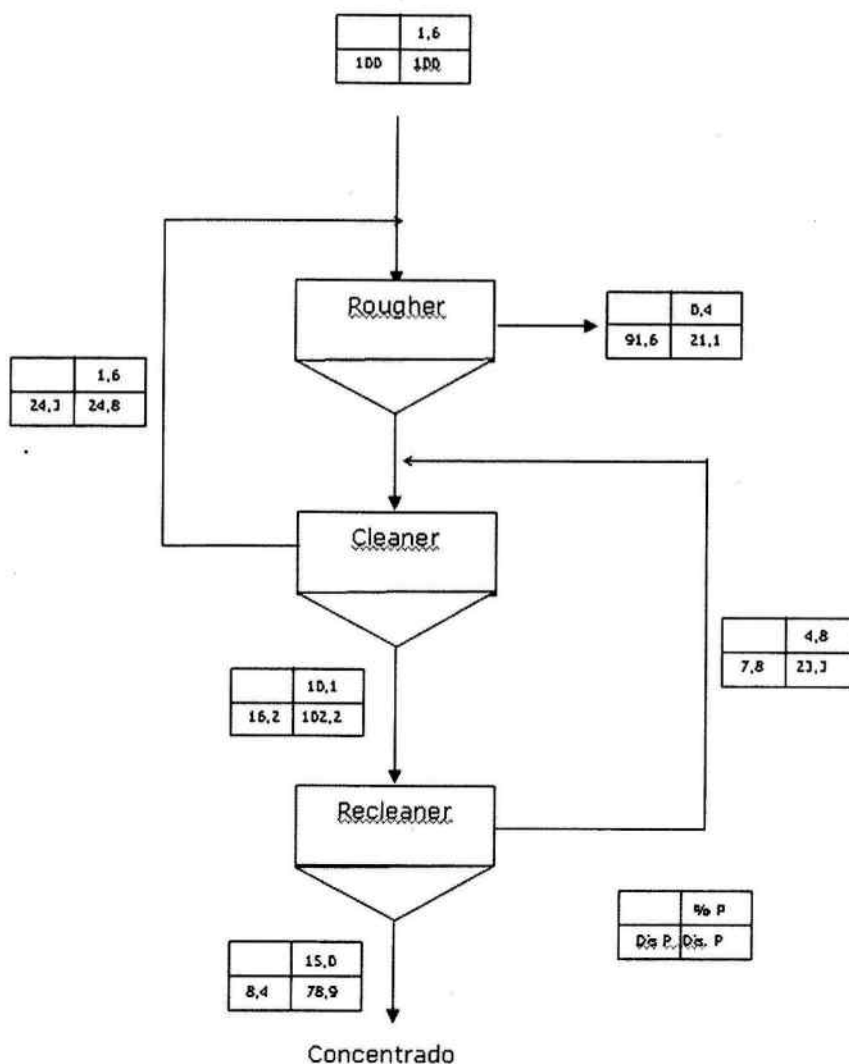


Figura 2 - Resultados circuito cerrado de colas de hierro

5. BIBLIOGRAFIA

- Agar, G.E., Kipkie, W.B., Predicting Locked Cycle Flotation Test Results from Batch Data, CIM Bulletin, November 1978.
- Agar, G.E., Stratton - Crawley, R., Bruce, T.J., Optimizing the design of flotation circuits, CIM Bulletin, December 1980, pág. 173-181.
- Dantas, J.O., Adamian R., O efeito da presença de finos na flotação do fosfato de Itaitaia, Brasil. II Encontro do Hemisferio Sul sobre Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro, Brasil, Maio 1987, Vol. 1, p. 522- 537.
- Domínguez, J., Aubrey, R. Eliminación de Fósforo por Flotación del Concentrado de Magnetita. Informe Técnico interno CMP, Junio 1981.
- Estudio de utilización de apatitas residuales, Informe Técnico interno, Gerencia Técnica, CMP, 1989.
- Lima, R.M.F. Peres, A.E.C. Flotation refractory phosphate ores. Proceedings of the IV meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology; and Latin American Congress on Froth Flotation. Concepción, Vol 2. 1994, p. 207-213.
- Osses, A.L., Exploración Geológica de rocas fosfáticas sedimentarias en Chile, Anales V Congreso de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería, U. de Atacama, Copiapó, 5 al 9 de Abril de 1987, pág. 77-91.
- Valdebenito, M.E. Estado actual de fosfatos en Chile y un modelo para su exploración futura. Anales V Congreso de Ingeniería de Minas, Universidad de Atacama, Copiapó. 1987, p. 59-76.