

Aumento de la Ley de Fosfato Mediante Flotación

L. Valderrama ¹; Y. Farfan ², C. Leiva ²

1. Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Atacama

2. Departamento de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama

Resumen

Este trabajo analiza la factibilidad técnica de aumentar la ley de P_2O_5 de la fosforita del yacimiento de Bahía Inglesa (Caldera, Región de Atacama) mediante flotación, con el objetivo de obtener un producto de mayor pureza. Fue realizada una caracterización química, granulométrica y pruebas de flotación a la muestra de fosforita obtenida en la planta Bifox, como también al material estéril descartado en la mina de dicha planta. El análisis químico indica un contenido de 16,5% de P_2O_5 , 32,4% de SiO_2 y 30,0% de CaO , y su distribución granulométrica se encuentra 60% bajo la malla 200; el material estéril tiene una ley de 6,45% P_2O_5 y su granulometría se encontraba entre las mallas -40 y +100. Las pruebas de flotación realizadas a este material con los reactivos Aero 6494, Flotador FS-2, Montanol y aceite de pino, mostraron que se puede incrementar la ley de fósforo pero con baja recuperación de este. Las pruebas de flotación realizadas al material estéril indican que se puede alcanzar leyes de 16,5% de P_2O_5 con recuperaciones del orden de 49%.

Palabra claves: Caracterización, flotación, fosforita, Bahía Inglesa

Abstract

This work analyses the technical feasibility of increasing the P_2O_5 grade of the phosphorite of the Bahía Inglesa deposit by flotation, with the objective of obtaining a purer product. A chemical granulometric characterization and flotation tests were done to the phosphorite sample obtained at the Bifox plant, as well as to the sterile material of the plant that was not included. The chemical analysis shows a content of 16.5% of P_2O_5 , 32.4% of SiO_2 and 30% of CaO ; its granulometric distribution is 60% under the mesh 200; the sterile material has a grade of 6.45% of P_2O_5 and its granulometric distribution was located between meshes -40 and +100. The flotation tests done to this material when using reagents such as Aero 6494, Flotador FS-2, Montanol and pine oil, showed that it is possible to increase the phosphorous grade but with a low recovery of it. The flotation tests done to the sterile material indicate that grades of 16.5% of P_2O_5 with recoveries around 49% can be reached.

Keywords: characterization, flotation, phosphorite, Bahía Inglesa

1. Introducción

Se usan varios términos para referirse a los fosfatos, que son: fosforita, roca fosfatada, fosfato natural, etc. sin embargo hoy en día se clasifican solo en dos grupos, apatita y fosforita según su estructura u origen.

La apatita son sustancias de origen rocoso de estructura cristalina y dura, mientras que la fosforita son en cambio sustancias de origen sedimentario, amorfas de poca dureza y de aspecto térreo.

La apatita es el principal mineral de los fosfatos naturales, se presenta en dos variedades, la fluorapatita de fórmula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ y la cloroapatita que es la más común en Chile y cuya fórmula es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$. Las apatitas se encuentran en rocas ígneas y metamórficas formando vetas y también bolsones o lentes.

La irregularidad e incertidumbre de estas vetas y la dureza de la roca, hacen que el costo de prospección y explotación sea relativamente alto.

Las impurezas que más acompañan a la apatita en la roca fosfatada son óxidos de hierro y de aluminio, sílice, calcita, magnesita, dolomita, arena, arcilla, y materia orgánica.

Las fosforitas están principalmente constituidas de hidroxiapatita $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2$ y carbonoapatita $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaCO}_3$, que se presentan en depósitos sedimentarios cuya explotación es más rápida y más barata que en el caso de la apatita, razón por la cual prácticamente todos los fertilizantes se producen a partir de fosforita.

La ley de este tipo de fosfato se expresa en porcentaje de P_2O_5 y también en "Bone Phosphate of Lime" (B.P.L), el cual es químicamente equivalente al contenido en fósforo del trifosfato de calcio o fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

La ley mínima que debe tener este fosfato para que sea conveniente como materia prima en la industria de los fertilizantes, es de 60 a 65 B.P.L, lo que corresponde a un 30% de P_2O_5 .

El mineral fosfático se utiliza principalmente en la fabricación de fertilizantes, como superfosfatos y otros compuestos para la agricultura. Aunque casi la totalidad de las especies requieren de fertilizantes específicos

para garantizar una buena cantidad, existen ciertas especies de trigo y de legumbres que asimilan directamente la roca finamente molida, sin necesidad de otro tratamiento. Esto se aprecia notablemente en los suelos ácidos con un alto contenido de materia orgánica.

Se usa, además, roca molida como elemento de relleno en algunos abonos mezclados y como parte de alimentación de ganado y aves. No obstante, los usos de la roca bruta se ven limitados por su contenido de flúor.

Otros usos no agrícolas del mineral fosfatados, son la fabricación de fósforo elemental y diversos combinados fosfóricos que se usan en la industria de la seda, venenos para ratas, medicina, fuegos artificiales, municiones, polvos de hornear, ablandamiento de agua y de cementos dentales, fotografía, refinación de azúcar.

Estudios estiman que el 85% de la producción total de fosfatos se utiliza en la industria de los fertilizantes, el 15% restante es utilizado en la industria de otro rubro, estos deben ser previamente purificados. Esta purificación involucra la precipitación del hierro (Fe_2O_3) Aluminio (Al_2O_3) y otros contaminantes.

El fósforo que necesitan los animales lo reciben de las plantas, y estas a su vez lo sustraen de la tierra, entonces, para su nutrición, requieren de notables cantidades de sustancias naturales especialmente del tipo fosfatadas, además nitrogenadas, potásicas y cálcicas, que por esta razón deben encontrarse presente en tales terrenos. Para evitar el empobrecimiento y esterilización de los suelos, se impone la rotación de cultivos y la adición de abonos o fertilizantes químicos adecuados.

El fósforo, es uno de los tres macro nutrientes principales, junto con el nitrógeno y el potasio, es un elemento fundamental en el proceso de conversión de la energía solar en alimento, fibra y aceite por las plantas. Desempeña una función clave en la fotosíntesis, en el metabolismo de azúcares, en la transferencia de energía, en la división celular, en el alargamiento de las células y en la transferencia de la información genética, FOTAFOS, 2005.

La cantidad de abono se expresa por el índice N-P-K, que es equivalente a su contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Por lo tanto un abono "16-0-0, significa que este en cuestión

contienen 16% de Nitrógeno, 0% de Fósforo y 0% de Potasio.

Varios estudios indican que el origen habitual de estos elementos son los siguientes:

La fuente de nitrógeno en la industria de los fertilizantes es el nitrato de sodio, seguido de la urea. El potasio, es suministrado por el cloruro de potasio, nitrato de potasio y el sulfato de potasio.

Las fuentes principales de los compuestos de Fósforo son el guano, la harina de huesos y los fosfatos minerales naturales.

La mayoría de los abonos fosfatados de origen mineral, con una excepción de los superfosfatos, son de reacción alcalina o neutra y, aunque estos productos no tienen el consumo enorme de los superfosfatos, para Chile son aparentemente los más convenientes, pues la mayor parte de las tierras chilenas deficientes en fosfatos son de naturaleza ácida.

Virtualmente todos los países del mundo poseen reservas o depósitos de roca fosfatada, pero solo algunos de ellos tienen la tecnología y el recurso económico suficiente para someter al mineral a procesos de concentración para poder comercializarlo. Muchos de estos países productores de fosfatos, explotan reservas de tipo sedimentario, como la fosforita (85% de la producción mundial), pero solo en Rusia, Sudáfrica, Brasil, Finlandia, y Suecia, son explotadas en forma rentable reservas de rocas ígneas o apatitas (15% de la producción mundial).

Los mayores productores de roca fosfatada en el mundo son Estados Unidos, Rusia, Marruecos y China, que representan el 75% de la producción mundial.

En Estados Unidos las compañías más importantes en la producción de fosfatos se encuentran en Florida, el 92% del comercio interno de fosfato es para fertilizante y el 8% restante se divide en producción de fósforo elemental y purificación en procesos de ácido fosfórico. Marruecos posee un tercio de las reservas mundiales de roca fosfatada.

La producción de fosfatos en Chile comenzó por los años 60, y condujeron a una primera exploración en 1963 con el proyecto Sheldon, sin resultados positivos. Posteriormente hubo otros intentos con iguales resultados como Steinhouser o Rojo, y uno de los más recientes el proyecto Valdevenito en 1986. Como

consecuencia directa de esto, es que Chile es dependiente de la importación de fertilizantes fosfatados.

En la actualidad existe un proyecto de explotación de los yacimientos de fosforita ubicados en la zona de Mejillones, Región de Antofagasta, y existen planes para la instalación de una planta con capacidad anual de 20.000 toneladas equivalentes de fosfatos.

El yacimiento de Bahía Inglesa, Región de Atacama registra una pequeña producción de mineral el cual es vendido a agricultores.

Chile importa la mayor parte de los fertilizantes fosfatados requeridos en la agricultura estimándose un consumo de 230.000 ton/año de P_2O_5 equivalente en 1988.

La industria nacional de fertilizantes, representada por COSAF, importa desde Florida, aproximadamente 25.000 ton/año de roca fosfórica de 32-34% de P_2O_5 para la elaboración de superfosfato normal. COSAF produce además fertilizantes tipo NPK, boro magnesio y fosfato magnesio.

Los recursos fosfatados que hay en Chile se estiman en 300.000.000 toneladas, tanto de roca sedimentaria (fosforita) como ígnea (apatita) y de guano.

Los yacimientos de fosforita de mayor importancia se distribuyen en el sector litoral del país, entre la Región de Antofagasta, Atacama y Coquimbo:

En Mejillones, Región de Antofagasta existe un yacimiento que consiste en un manto inconsolidado de 3 metros de espesor promedio, con ley media de 6-7% de P_2O_5 , cuya reserva es del orden de 55 millones de toneladas en un área de 12 km².

El yacimiento de Bahía Inglesa, ubicado en la Región de Atacama, contiene un manto de 0,5 metros. de espesor promedio, con leyes entre 7-17% de P_2O_5 y 20-61 ppm de Uranio móvil, con una reserva de 87,7 millones de toneladas en un área de 15 km².

El yacimiento de Bahía Salada, ubicado en la misma Región, alcanza a 30 millones de toneladas, con ley media de 17% de P_2O_5 en un área de 37 km².

Las reservas y leyes de P_2O_5 en Chile son bajas, con lo cual las mejores expectativas estarían en producir materia prima para la elaboración de fertilizantes.

El yacimiento de Bahía Inglesa se encuentra ubicado a unos 75 kms de la ciudad de

Copiapó en la comuna de Caldera. En este yacimiento se distingue un área principal constituida por un manto de mineral de 17% de P_2O_5 y 61,2 ppm de U_3O_8 y un sector denominado área anexa, en el cual existen depósitos estratiformes compuestos de una fosforita erodada y redepositada con sedimentos estériles, que presentan leyes variables entre 7-10% de P_2O_5 .

Los trabajos realizados a este yacimiento señalan la existencia total de 87.666.000 toneladas, de mineral, diferenciados en cuatro categorías con leyes variables entre 7-17% de P_2O_5 y 20-61 ppm de uranio móvil.

Este trabajo analiza la factibilidad técnica de aumentar la ley de P_2O_5 de la fosforita del yacimiento de Bahía Inglesa mediante flotación, con el objetivo de obtener un producto de mayor pureza.

2. Parte experimental

La muestra de fosforita fue extraída de la planta de beneficio que se encuentra en el sector Bahía Inglesa. El análisis químico de la muestra de fosforita es mostrado en la tabla 1.

Tabla 1: Análisis químico de la fosforita

Compuesto	Porcentaje (%)
P_2O_5	16,5
SiO_2	32,4
CaO	30,0
Al_2O_3	5,0
MgO	1,2

En la determinación de la distribución granulométrica de la muestra de fosforita fue usada una batería de tamices. El análisis granulométrico de la muestra de fosforita es mostrado en la tabla 2 se muestra.

Tabla 2: Distribución granulométrica

Malla Tyler	Peso (g)	Peso (%)	Retenido (%)
100	38,5	12,8	12,8
150	36,5	12,2	25,0
200	42,7	14,2	39,2
270	26,4	8,8	48,0
235	16,2	5,4	53,4
400	11,9	4,0	57,4

500	17,1	5,7	63,1
625	0,9	0,3	63,4
-625	109,8	36,6	100,0

Fue determinado el peso específico de la fosforita por el método del matraz de Le Chatelier usando parafina como fluido, el resultado obtenido en esta determinación fue de 2,7 g/cm³.

Además, fue determinada la solubilidad de la fosforita en agua destilada, la cual entregó un valor de 2,9%.

Para la realización de las pruebas de flotación fueron preparados paquetes de muestras con los porcentajes de sólidos que serán usados en la celda de flotación. El volumen útil de la celda de flotación de laboratorio es de 2.560 cm³.

Para un 18% sólido, el peso de sólido seco a usar es 575,4g; para un 27% sólido, el peso de sólido seco es de 922,4 g y para un 36% sólido, el peso de sólido seco a usar es 1325,7 g

Los parámetros de operación tales como flujo de aire, agitación de la celda (1200 rpm), agua de lavado fueron determinados en pruebas preliminares y el pH de la pulpa usado fue el natural.

Los reactivos estudiados fueron colectores aniónicos, Aero 6494 (Cytex); Flotador FS-2 (Clariant), como espumantes; Montanol y aceite de pino.

La muestra fue agregada a la celda de flotación junto con los reactivos y se acondicionó con 70% sólidos durante 5 minutos, luego se diluyó al porcentaje deseado y agregaron 10 minutos más de acondicionamiento. El paletado para retirar el concentrado fue cada 10 segundos y el agua de reposición a la celda fue agregada a partir de los 10 minutos de flotación.

3. Resultados y discusión

En una primera etapa fueron realizadas ocho pruebas de flotación convencional en celda Denver de laboratorio. Los parámetros que fueron estudiados fue el porcentaje de sólidos y la dosificación de reactivos. En la tabla 3 se muestran las condiciones operacionales y los resultados obtenidos en dichas pruebas.

Tabla 3: Resultados de las pruebas de flotación

%.	Colector		Espuma	Ley	Rec
Sól	A6494	FS-2	Montan ol	(%)	(%)
18		135		23,8	2,7
18	800			25,7	8,9
18		800	20	26,8	3,4
27	800			23,8	15,0
27		800	20	22,5	6,4
36	800			22,7	20,7
36		800	20	22,9	6,5
36	1.200			20,1	19,0

Se observa en la tabla, que en todas las pruebas de flotación realizadas se produce un aumento en la ley de P_2O_5 en el concentrado, pero una muy baja recuperación de fósforo.

Se observa que en la prueba 3 se puede obtener un concentrado de fosforita de 26,8% P_2O_5 , con una recuperación de 3,4%. En cambio en la prueba 6, se obtiene un concentrado con una ley de 22,7% de P_2O_5 con una mejor recuperación de 20,7%.

Si comparamos los resultados obtenidos con los colectores A-6494 y Flotador FS-2, para una concentración de 800 g/t, usando un porcentaje de sólido de 18% y manteniendo constante los demás variable, se puede observar que para con ambos reactivos, la ley de P_2O_5 en el concentrado es bastante alta (25,7% y 26,8% respectivamente); pero la recuperación obtenida es bastante baja (8,9% y 3,4%).

De la misma forma, si analizamos el efecto del porcentaje de sólido en la flotación (18, 27 y 36%), usando como colector el Aero 6494 en una dosificación de 800 g/t, se puede observar que al aumentar el porcentaje de sólido, la ley de P_2O_5 en el concentrado disminuye, pero la recuperación se incrementa hasta un valor de 20,7%.

Analizando el efecto de la concentración del colector Aero 6494, en la flotación de la fosforita, para un mismo porcentaje de sólido, se puede observar que al incrementar la concentración de 800 a 1.200 g/t, la ley de P_2O_5 en el concentrado y la recuperación disminuye.

Con los resultados obtenidos en estas pruebas preliminares de flotación, se realizó una cinética de flotación para determinar el tiempo óptimo de flotación.

Basándonos en los mejores resultados obtenidos en dichas pruebas, los parámetros

usados fueron pH natural, 36% de sólidos, 800 g/t de reactivo Aero 6494 y 30 g/t de espumante Montanol, tiempo de acondicionamiento 15 minutos.

En la tabla 4 se muestra los resultados de la cinética realizada y sus respectivos análisis químicos.

Los resultados muestran que la máxima ley de fósforo se obtiene a los 15 minutos, luego esta comienza a descender, aunque la recuperación de fósforo sigue aumentando. El tiempo usado en la cinética no fue el suficiente para determinar el tiempo óptimo mediante el criterio de Agar.

Tabla 4: Cinética de flotación de la fosforita.

Tiempo (min)	Peso conc (g)	Ley P_2O_5 (%)	Recup. (%)
3	71	21,9	7,7
5	30	22,1	10,9
8	34	22,5	14,7
12	24	23,3	17,5
15	24	25,2	20,5
20	15	24,4	22,3
25	19	24,4	24,6
30	15	24,2	26,3

En la mina se retira un material estéril que tiene una ley de 4,1% de P_2O_5 . A este material se le realizó un análisis granulométrico, para determinar su distribución y las leyes de P_2O_5 que tenía el material por malla.

La tabla 5 se muestra la distribución granulométrica y los resultados de los análisis químicos.

Tabla 5: Análisis granulométrico del estéril

Mallas ASTM	Peso (%)	Ley P_2O_5 (%)	Distrib. (%)
12	2,0	13,0 (0,26	6,1
16	0,7	8,1 (0,06	1,3
20	1,2	6,0 (0,07	1,6
30	3,2	6,7 (0,2	4,9
40	6,1	10,0 (0,6	14,0
50	10,0	10,2 (1,0	23,7
70	12,3	7,3 (0,9	20,7
100	19,7	2,9 (0,6	13,3
140	22,3	1,1 (0,2	5,7
170	11,3	1,1 0,1	3,0
200	3,2	1,5 0,05	1,1
-200	7,9	2,5 0,2	4,6

Del análisis granulométrico anterior, el material fue dividido en dos fracciones, una gruesa y otra fina.

El material grueso de las mallas Tyler 12, 16, 20 y 30 fue descartado debido a que estas fracciones granulométricas tenían muy baja distribución de fósforo y además el comportamiento de estas partículas en la flotación es muy bajo.

Las fracciones granulométricas de las mallas finas (140, 170, 200 y - 200) también fueron eliminadas por su baja ley de P_2O_5 (1,1%).

Solo se trabajó con la fracción que corresponde a las malla 40, 50, 70 y 100, que corresponde al 48,1% de la masa y al 71,6% del fósforo de la muestra y la ley de P_2O_5 se incrementa a 6,45%.

Fue realizada una cinética al material de rechazo para determinar tiempo óptimo de flotación. En la tabla 6 se muestra los resultados de la cinética.

Tabla 6: Cinética material de rechazo

Tiempo (min)	Peso (g)	Ley P_2O_5 (%)	Recuperación (%)
10	161,3	16,5	49,1
20	26,1	4,1	51,0
30	1,7		
40	0,6		
50	0,1		
60	0,2	10,1	51,5

Como se observa en la tabla, a los 10 minutos de flotación se obtiene una ley de 16,5 % P_2O_5 que corresponde a la ley de la fosforita producida por la planta, con una recuperación de 49,1 %.

4. Conclusiones

De estas experiencias se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La fosforita tiene un contenido de 16,5% de P_2O_5 , 32,4% de SiO_2 y 30,0% de CaO.
- La distribución granulométrica indica que es un material fino ya que el 60% se encuentra bajo la malla 200.
- Las pruebas de flotación indicaron que se puede incrementar la ley de fósforo a valores de 26,8 pero con recuperación de 3,4%.
- Las pruebas de flotación realizadas al material estéril muestran que se pueden obtener concentrados con leyes de 16,5% de P_2O_5 y recuperaciones de 49%.

5. Referencias

Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Oportunidades de negocios de los recursos mineros no metálicos en Chile.
Internet. Producciones, exportaciones e importaciones mineras no metálicas en Chile.
Internet. Usos de la apatita.
Lobos G. Estudio de factibilidad técnica de flotar Apatitas de relaves de hierro de CMP.
Trabajo de titulación para obtener el título de Ingeniero Ejecución en Metalurgia Extractiva, 2003.
FOTAFOS 2005, www.ppi.ppic.org.
Habashi, F. Phosphate fertilizer industry. Processing technology, Industrial Minerals, 1994.