

# Purificación de Concentrado Magnético de Hierro mediante Flotación

L.Valderrama<sup>1</sup>, P. Richard<sup>2</sup>, F. Parra<sup>3</sup>, A.Rodriguez<sup>3</sup>

## Resumen

Fue creada una línea de investigación en la CMP, para mejorar la calidad de los pellets, implementando un proceso de concentración por flotación inversa de hierro, que consiste en flotar la sílice, carbonato y alúmina que contaminan el concentrado magnético. Fueron realizadas pruebas de flotación en celda convencional, columna y celda neumática de flotación, con el objetivo de encontrar las mejores condiciones a nivel de laboratorio y piloto. Al utilizar celda de flotación convencional, se logra obtener un concentrado de hierro de 69,3% Fe; 1,84% SiO<sub>2</sub> con una recuperación de hierro de 93,8% y una eliminación de sílice de 24,7%. Los resultados obtenidos en flotación en columna convencional, fueron 68,7% Fe; 2,02% SiO<sub>2</sub>; con una recuperación de hierro de 97,50 % y una eliminación de sílice de 10%. Los resultados de las pruebas de flotación en celda neumática, en las cuales fue analizada la influencia del flujo de pulpa alimentado a la celda y la presión de aire fueron; 69,31% Fe, 1,73% SiO<sub>2</sub>; con una recuperación de hierro de 90,13% y una eliminación de sílice de 29,06%,

## Abstract

In order to improve the quality of pellets, a research project was established at CMP. It is the study of an iron concentration process by using the inverse flotation technique, which consists in recovering silica, carbonate and allumina from the magnetic concentrate. Flotation tests were run in conventional and pneumatic cells and flotation column in order to find the best conditions at the laboratory and pilot scales. With conventional cell, an iron concentrate of 69,3% Fe; 1,84% SiO<sub>2</sub> with a recovery of iron of 93,8% was obtained, and 24,7% of silica was removed, using Flotigam EDA-B in 120 (g/t), amidex in 200 (g/t) in a pulp 20% of solids at a pH 8. The result obtained with the conventional column, in which the influence of the bias flow, air flow, was analyzed, was 68,7% Fe; 2,02% SiO<sub>2</sub>; with an iron recovery of 97,50% and a removal of 10% of silica. The result with the pneumatic cell, in which the influence of the pulp flow fed to the cell and the air pressure were analyzed was; 69,31% Fe, 1,73% SiO<sub>2</sub> with a recovery of 90,13% of iron and a 29,06% of silica removal.

## I INTRODUCCION

La alta competitividad en el mercado internacional del hierro ha creado la necesidad de obtener un pellet de alta calidad con requerimientos de contenidos de sílice menores a 0,5 %. La flotación inversa (flotación de sílice) es un método económico y efectivo de reducir el contenido de sílice a niveles bastante bajos en el concentrado (Cienski and Coffin, 1981).

La flotación como método de concentración, es ampliamente aplicado en la industria minera, siempre y cuando la naturaleza de los componentes de la mena así lo permitan. En el caso de los minerales de hierro se utiliza la flotación aniónica directa, o la flotación catiónica inversa, la ventaja de esta última, es que permite realizar la flotación a pH natural (Valero y Montes, 1985).

El carácter hidrofílico de los minerales oxidados,

**Palabras Claves:** Purificación, Concentrado Magnético, Flotación.

1. Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológica. Universidad de Atacama, Av. Copayapu N° 485 Copiapó.
2. Departamento de Metalurgia Facultad de Ingeniería Universidad de Atacama Av. Copayapu 485. Copiapó;
3. Compañía Minera del Pacifico. Depto de Investigación de Procesos Metalúrgicos. Brasil 1050 Vallenar.

determina que éstos interactúen fuertemente con el agua, adquiriendo su superficie una carga eléctrica cuya magnitud y signo depende del pH de la fase líquida y del valor del potencial de carga cero (ZPC).

Los colectores utilizados en la flotación de óxidos de hierro, son compuestos orgánicos formados por una cadena larga de carbono, con un extremo polar que se ioniza. Este extremo iónico, debido a una atracción electrostática, se adsorberá sobre la superficie mineral, orientando su cadena hacia la fase líquida. Así, entonces, si se desea flotar un mineral a un pH menor que su ZPC, en que su superficie está cargada positivamente, se requiere un colector aniónico. Si el pH es superior al ZPC, se necesitará un colector catiónico.

Las máquinas utilizadas en flotación se pueden dividir en: celdas mecánicas, que se caracterizan por un impulsor mecánico que agita la pulpa y dispersa el aire dentro de ella; columna de flotación cuya característica esencial es el flujo en contracorriente de las burbujas de aire con la pulpa; y la celda de flotación neumática, la cual no posee impulsor, sino que cuenta con aire comprimido para agitar y airear la pulpa. Las celdas mecánicas convencionales han sido reemplazadas por columnas de flotación en el circuito de molibdeno, cobre, zinc, plomo, oro, talco, grafito, hierro, fluorita, fosfatos y carbón (Aquino et al 1992).

El buen rendimiento metalúrgico, junto con el bajo costo de capital y operación, ha hecho muy popular a la columna de flotación en el procesamiento de minerales (Smithson et al, 1991, Rubinstein 1994, Dobby and Finch 1991). Las principales aplicaciones industriales en el tratamiento de minerales de hierro fueron realizadas en Brasil por Samarco Mineracao S.A. donde se instalaron columnas en la etapa de limpieza y en la etapa "scavenger" para reducir el contenido de sílice en los concentrados (Viana et al. 1991).

Este trabajo describe los resultados obtenidos en celda de flotación convencional, columna de flotación y celda neumática en la purificación de concentrado de hierro magnético de sílice, alúmina y carbonato.

## II PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 Caracterización del mineral

Una muestra de concentrado magnético para realizar las pruebas de flotación, fue obtenida en las baterías magnéticas primarias. Esta muestra fue filtrada, secada, disgregada, homogeneizada y cuarteada; el agua obtenida, del filtrado de la pulpa fue utilizada para realizar las pruebas de flotación. La muestra de concentrado magnético fue analizada químicamente, por fracción de tamaño y microscópicamente. Las características químicas del concentrado magnético son mostradas en la tabla 1.

**Tabla 1.** Análisis químico del concentrado magnético

Alim.	Fe (%)	P (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	V (%)	TiO <sub>2</sub> (%)
C	68,72	0,0025	2,24	0,31	0,76	0,73	0,16	0,15

### 2.2 Equipo

Las pruebas de flotación en celda convencional, fueron realizadas en una celda marca Galliger, modelo L.A. 500 con un flujo de aire de 4000 (cm<sup>3</sup>/min), y de 2700 cm<sup>3</sup> de volumen útil.

Las pruebas de flotación en columna, se realizaron en una columna de acrílico de 5,08 cm de diámetro interno y 2,42 m de altura, además, se utilizó un estanque acondicionador de 400 lts de capacidad y dos bombas peristálticas. El tiempo de acondicionamiento de los reactivos durante todas las pruebas se mantuvo constante. Las variables de operación controladas fueron: flujo de alimentación; de relave; de aire; la altura de espuma permaneció constante en todas las pruebas.

Las muestras, tanto de alimentación, relave y concentrado de hierro, fueron tomadas simultáneamente, una vez estabilizada la columna de flotación.

Las pruebas de flotación en celda neumática, se realizaron en una celda marca Allmineral, modelo Bahr de 46,0 cm de altura y 12.0 cm de diámetro interno; la cual consiste en alimentar en co-corriente

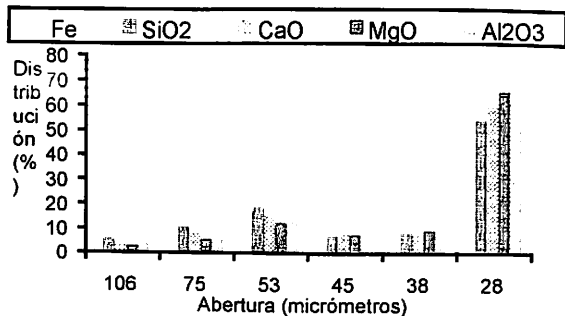
ascendente la pulpa de magnetita y aire inyectado a presión.

El grado de molienda fue 82,13% -325 malla Tyler (45 micrómetros). El análisis químico por fracción de tamaño, indica altas leyes de SiO<sub>2</sub> en tamaños superiores a 45 micrómetros, como se puede ver en la tabla 2.

**Tabla 2. Análisis químico por fracción de tamaño**

Malla Parcial Tyler (%)	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
150	0,52	49,44	21,00	1,55	3,30	4,15
200	1,71	58,21	12,53	1,20	2,20	2,70
270	8,65	67,12	4,47	0,45	0,99	1,09
325	6,98	68,99	1,92	0,28	0,70	0,69
400	9,82	69,49	1,61	0,19	0,63	0,59
-400	72,30	69,53	1,58	0,22	0,64	0,57

La figura 1 muestra la distribución de hierro, sílice, alúmina y cal por fracción granulométrica de la muestra de concentrado usada en los ensayos de flotación en celda convencional, en columna de flotación y celda neumática de flotación.



**Figura 1.-Distribución por elementos en el concentrado**

La caracterización mineralógica del concentrado magnético, indicó la presencia de magnetita, hematita, pirita, actinolita, cuarzo, feldespato, carbonato, clorita y limonita. El grado de liberación en la malla 400, indicó que el 95,2 % de la magnetita se encontraba liberada.

Los reactivos utilizados en las pruebas de flotación fueron: Flotigam EDA-B y Aeropromoter 3000C, hidróxido de sodio como regulador de pH y Amidex como depresante de Hierro.

### 2.3 Métodos

Las pruebas de flotación en escala de laboratorio, fueron realizadas en una celda convencional, y el concentrado fue removido cada 15 segundos, usando raspadores de acrílico para remover el material flotado. El flujo de aire fue controlado por un flujómetro. El tiempo total de flotación fue de 15 minutos, con adiciones parciales de agua a la celda, para mantener constante el nivel de la celda. Las variables estudiadas fue el pH, dosificación de colector, de depresante y porcentaje de sólido.

El tiempo de acondicionamiento para el Hidróxido de sodio, depresante Amidex y colector fueron 10, 8 y 3 minutos respectivamente. El hidróxido de sodio fue utilizado solamente en las pruebas de flotación, en celda convencional.

La metodología utilizada en la columna, consistía en el acondicionamiento de la pulpa en el estanque de alimentación, con el porcentaje de sólido deseado y la adición de los reactivos. La pulpa fue inyectada con el flujo determinado a la columna, la cual estaba llena de agua y con el aire a la presión y caudal determinado. El control de la operación fue realizado por la toma de muestra de concentrado y de relave, durante 5 minutos con intervalo de 15 minutos. Luego estas muestras eran filtradas, secadas, pesadas, disgregadas y analizadas. Todas las pruebas fueron realizadas a pH natural de la pulpa.

La metodología utilizada en la celda neumática de flotación, consistía en la alimentación de la pulpa previamente acondicionada y el aire inyectado a presión, ambos en co-corriente ascendente. La presión de inyección del aire fue de 16, 18 y 20 psi; el flujo de pulpa alimentado fue de 5360, 4580, 3920, 3240, 2540 cm<sup>3</sup>/min para cada nivel de presión de aire. El procedimiento de muestreo fue el mismo utilizado para las pruebas en columna.

### III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 3 muestra algunos de los resultados de recuperación, leyes de hierro y sílice en función de porcentaje de sólido, pH, colector y depresante en la flotación de hierro en celda mecánica convencional.

**Tabla 3.** Resultados de flotación en celda convencional.

S	Condiciones		Ley(%)				Recuperación(%)				
	pH	Col	Am.	AP 3000	EDA-B	AP 3000	EDA-B	AP 3000	EDA-B		
%	g/t	g/t	Fe	SiO <sub>2</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Fe	
25	8	100	500	68,8	2,2	68,8	1,95	9,0	99,5	17,6	94,7
30	7	120	600	68,5	2,1	69,1	1,87	7,7	99,1	20,5	95,6
20	9	120	600	68,5	2,1	68,7	1,85	4,7	99,4	22,7	95,8
20	7	120	400	68,7	2,1	69,0	1,86	9,2	99,1	21,8	95,5
20	7	120	600	68,8	2,1	69,1	1,83	7,0	99,3	23,9	97,5
20	9	120	400	68,5	2,1	69,1	1,82	6,6	99,3	23,6	98,0
25	8	100	500	68,8	2,0	69,0	1,87	11,7	99,0	21,1	94,8
20	8	120	0			69,2	1,81			24,5	94,2
20	8	120	200			69,3	1,84			24,7	93,8
20	8	120	400			69,2	1,86			24,2	93,2

Se puede verificar que hay una disminución de la sílice en el concentrado de hierro, cuando se utiliza como colector Flotigam EDA-B, en vez de Aeropromotor 3000C, en todo el intervalo de concentración estudiado.

La tabla también muestra los resultados del efecto de pH sobre la recuperación. Se puede observar que el pH no tiene una gran influencia en la recuperación y ley de hierro. La función del depresante Amidex en dosificaciones de 0 hasta 600 (g/t), no tiene influencia ya que las leyes de hierro son prácticamente equivalentes, por lo cual, el depresor no cumple la función, esto posiblemente se deba a la elevada densidad de la magnetita. La tabla 4, muestra los resultados obtenidos en la columna de flotación,

cuando fue analizado el flujo de Bias en función de la recuperación de hierro y sílice. Se puede observar que la recuperación de hierro aumenta en función del flujo de bias.

También, se puede apreciar claramente que al utilizar un flujo de bias negativo, es mayor la eliminación de SiO<sub>2</sub>; si se aumenta el flujo de aire, aumenta la recuperación metalúrgica de Fe y la recuperación en peso, pero disminuye la eliminación de SiO<sub>2</sub>.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos al variar el flujo de bias

Parámetros	Flujo de Bias (cm <sup>3</sup> /min)		
	100	100	280
Rec. de Fe	97,5	97,9	99,5
Rec. de SiO <sub>2</sub>	10,5	8,3	5,9
Ley de Fe	69,7	68,6	68,6
Ley de SiO <sub>2</sub>	2,02	2,09	2,0

Los resultados de los ensayos para estudiar el efecto de la velocidad de aire son mostrados en la tabla 5. El concentrado de hierro obtenido muestra leyes de 69,7% de Fe y recuperación de 97,5%.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos al variar el flujo de aire

Parámetros (%)	Flujo de aire (cm <sup>3</sup> /min)	
	3000	4000
Rec. Fe	97,5	98,9
Rec. SiO <sub>2</sub>	10,5	9,9
Ley de Fe	69,7	68,67
Ley de SiO <sub>2</sub>	2,02	2,08

La tabla 6 muestra los resultados de recuperación y ley de hierro y sílice en las pruebas de flotación en celda neumática, en función del flujo de aire y la presión de aire. Las demás variables operacionales

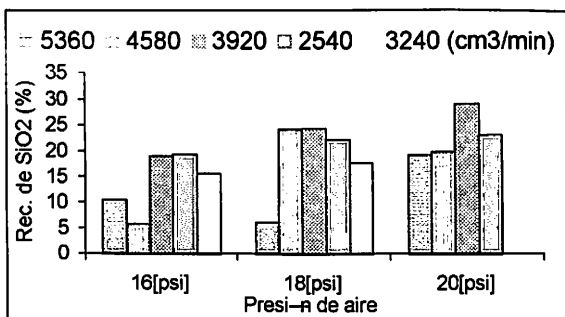
fueron mantenidas constantes.

Esta tabla muestra que es posible la eliminación de sílice del concentrado de hierro en torno de 29%, con recuperaciones de hierro de 90%.

**Tabla 6.** Resultados, al variar el flujo de alimentación de pulpa y presión de aire, en la celda neumática.

Flujo cm <sup>3</sup> /min]	Rec. peso			Rec.de Fe			Rec. de SiO <sub>2</sub>		
	16	18	20	16	18	20	16	18	20
5360	97,6	99,5	94,9	98,0	99,6	95,7	10,5	6,1	19,33
4580	98,7	96,4	96,6	98,9	96,8	97,0	5,7	24,2	19,86
3920	95,7	96,7	89,0	96,3	97,2	90,2	19,0	24,4	29,06
3240	96,9	95,1		97,7	95,7		15,7	17,7	
2540	96,3	94,11	91,4	96,8	94,9	92,59	19,4	22,3	23,15

La figura 2 muestra las recuperaciones metalúrgicas de SiO<sub>2</sub> obtenidas como resultado de los ensayos en celda neumática, al variar el flujo de alimentación de la pulpa y la presión de aire. Se puede apreciar que la mayor cantidad de SiO<sub>2</sub> eliminada, se logra con un flujo de alimentación de 3920 (cm<sup>3</sup>/min) e inyectando el aire a una presión de 20 (psi).

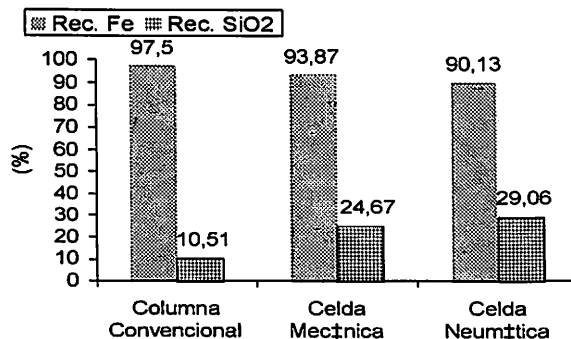


**Figura 2.** Recuperación de SiO<sub>2</sub> al variar el flujo de alimentación de pulpa y la presión de aire.

La figura 3 muestra la recuperación metalúrgica de hierro y la eliminación de sílice (Rm SiO<sub>2</sub>), al utilizar los diferentes equipos de flotación. Se puede observar, que al utilizar la celda neumática, la eliminación de sílice es mayor en este equipo, seguida

de la celda mecánica y por último la columna de flotación. La recuperación de hierro en la celda neumática es la menor de los equipos estudiados.

Como el objetivo es obtener un concentrado de hierro con el menor contenido de sílice, este es alcanzado con un flujo de alimentación de 3290 (cm<sup>3</sup>/min), una presión de aire de 20 psi; usando Flotigam EDA-B en 120 (g/t), amidex en 200 (g/t), porcentaje de sólidos de 20% y un pH 8.



**Figura 3.-**Recuperación de hierro y eliminación de Sílice

#### IV CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir en lo siguiente:

- Los resultados obtenidos con el colector Flotigam EDA-B son muy superiores a los obtenidos con el colector aeropromoter 3000 C. Las variables de operación quedaron establecidas como: 120 (g/t) de colector Flotigam EDA-B, 200 (g/t) de depresante Amidex, pH natural de la pulpa y 20 % de sólidos.
- El concentrado de hierro obtenido en la flotación inversa en celda convencional, presentó las siguientes características: 69,25% Fe, 1,84% SiO<sub>2</sub>, 93,8% de recuperación de Fe y 24.7% de SiO<sub>2</sub> es eliminada del concentrado de hierro.
- Los resultados obtenidos en columna de flotación fueron poco satisfactorios, posiblemente se deban, principalmente, al alto peso específico de la magnetita.

- El concentrado de hierro obtenido en la flotación inversa en celda neumática en co-corriente ascendente, presentó las siguientes características: 69,31% Fe, 1,73% SiO<sub>2</sub>, 90,13% de recuperación de Fe y el 29,06% de la SiO<sub>2</sub> fue eliminada del concentrado magnético de hierro.

Como conclusión general podemos afirmar: para la muestra de concentrado magnético, bajo condiciones de pH, % de sólidos, dosificación de colector y depresante; los resultados obtenidos al realizar los ensayos en una celda neumática, son superiores a los resultados obtenidos en celda mecánica convencional y columna de flotación.

## V BIBLIOGRAFÍA

Aquino, J.A. et. al. 1992. Aplicacao da Flotacao em Coluna a Minerios Brasileiros, Flotacao Fundamentos, Pratica e Meio Ambiente, M. J.

G. Salum & V.S.T. Ciminelli, Belo Horizonte, MG – Brasil p. 494 – 510.

Carmona L. 1997. Flotación inversa de mineral de hierro. Tesis de grado de Ingeniería Civil en Metalurgia. Universidad de Atacama.

Ciensi T., and Coffin, V. 1981, Column Flotation Operation at Mines Gaspé Molybdenum Circuit. 13 th Annual CMP Conference, Ottawa, Canada.

Dobby, G.S: and Finch, I. A: 1991. Column Flotation: A selected review, Part II. Min: Eng.. 4 , 911- 923.

Richard P. 2000. Mejoramiento de la calidad del concentrado magnético mediante flotación inversa de hierro, Tesis de Ingeniería de Ejecución en Metalurgia Extractiva, Universidad de Atacama.