

OBTENCIÓN DE PRE-CONCENTRADO DE HIERRO DE LAS MINAS EL ALGARROBO, ATACAMA - CHILE

O. Pavez^{1,3}, P. Tapia¹, M. Meléndez², L. Cereceda¹, M. Santander^{1,3}

¹Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, Av. Copayapú #485, Copiapó, Chile

e-mail: osvaldo.pavez@uda.cl patricia.tapia@uda.cl mario.santander@uda.cl

²Planta de Pellet Huasco, Compañía Minera del Pacífico, Huasco, Chile

³Centro Regional de Investigación y Desarrollo Sustentable de Atacama – CRIDESAT, Av. Copayapú #485, Copiapó, Chile

RESUMEN

La Planta de *Pellet* de Huasco de la Compañía Minera del Pacífico en la Región de Atacama, Chile, tiene una producción de aproximadamente 6 millones de toneladas de concentrado de hierro por año, de los cuales exporta alrededor del 80%, principalmente al mercado asiático. El crecimiento experimentado por la demanda de hierro en los últimos años ha llevado a la empresa a realizar estudios que le permitan aumentar la producción de este metal. El objetivo del presente trabajo fue obtener un pre-concentrado de hierro desde minas El Algarrobo para abastecer la demanda futura de la Planta de *Pellet* Huasco. Para el desarrollo de este estudio se realizaron pruebas con cinco muestras diferentes, en las cuales el mineral de hierro principal era la magnetita. Cada muestra fue analizada física y químicamente, y posteriormente fue reducida a dos tamaños (100% -38,1 mm y 100% -25,4 mm). El material +6,35 mm fue procesado en poleas electromagnéticas bajo diferentes condiciones operacionales, y el producto obtenido fue reducido en un *Roller Press* hasta obtener un tamaño -6,35 mm, el cual fue tratado en tambores magnéticos HSD. Las recuperaciones metalúrgicas obtenidas en la concentración de la magnetita en los separadores HSD, fueron superiores al 94%, alcanzándose un pre-concentrado de hierro final que cumplía con las condiciones exigidas en cuanto a calidad química, o sea, una ley de hierro magnético sobre el 54%, un contenido de fósforo inferior al 0,35% y una cantidad de sílice menor al 9,5%.

PALABRAS CLAVES: hierro; magnetita; separación magnética.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento experimentado por la demanda de hierro en los últimos años ha impulsado a la Planta de *Pellet* Huasco de la Compañía Minera del Pacífico a realizar estudios que le permitan incrementar la producción de este metal. En este contexto, actualmente hay un proyecto que tiene como propósito aumentar la producción, el cual considera una cuarta línea de molienda en la planta, la cual requiere un abastecimiento adicional de pre-concentrado. La Planta de *Pellet* Huasco tiene como principal fuente de abastecimiento de pre-concentrado de hierro la mina Los Colorados, cuya producción de 20.000 t/día no permite cumplir con las necesidades requeridas por la planta.

Antiguamente, minas El Algarrobo era quien abastecía de esta materia prima a la planta, pero esta faena fue cerrada el año 2003. Sin embargo, exploraciones posteriores a su cierre que fueron realizadas a esta mina, indicaron la presencia de un nuevo cuerpo de minerales de hierro. Este descubrimiento hace necesario llevar a cabo pruebas metalúrgicas con muestras de esta mina que demuestren la viabilidad técnica de producir pre-concentrados de hierro con calidad de *pellet feed*, que cumplan con los requerimientos comerciales exigidos a estos productos. A través de estas pruebas se debe determinar un adecuado esquema de proceso, que permita maximizar la recuperación metalúrgica de los recursos minerales y la rentabilidad de las inversiones asociadas (Cereceda, 2010).

El objetivo del presente trabajo fue obtener un pre-concentrado de hierro desde minas El Algarrobo que cumpliera con las exigencias de calidad química de los *pellet feed*. Para ello se realizó una caracterización física y química del mineral, y se desarrollaron pruebas de reducción de tamaño en un equipo *Roller Press* (Guigon e Simon, 2003; Kreisberg, 1992; Strasser e Wolter, 1991) y de concentración en poleas electromagnéticas y tambores magnéticos HSD.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Muestras

Se obtuvieron cinco muestras en distintos sectores de minas El Algarrobo, las cuales se identificaron como M2, M3, M4, M5B y M9. Cada una de las muestras pesaba aproximadamente 15 toneladas y tenía un tamaño máximo de 305 mm. Posteriormente, estas muestras fueron homogenizadas y cuarteadas, obteniéndose en cada caso muestras para análisis químico, análisis granulométrico y pruebas metalúrgicas. La caracterización química y granulométrica de las muestras se presentan en la tabla I y figura 1, respectivamente.

2.2. Equipos

Poleas electromagnéticas: Estos equipo tenían las siguientes características: 0,305 m de ancho, 1 m de largo, una velocidad de rotación variable de 25 a 250 rpm, y un campo electromagnético entre 250 y 1100 gauss.

Tambor magnético HSD: Era un equipo de alta velocidad con una intensidad de campo magnético de 1000 gauss.

Roller Press: Se utilizó un molino de rodillo piloto fabricado por la empresa alemana KHD Humboldt, que tenía 0,9 m de diámetro y 0,25 m de ancho, con capacidades comprendidas entre 50 y 80 t/h.

Tabla I. Caracterización química de las muestras recibidas desde minas El Algarrobo

Elemento o Compuesto	M2 (%)	M3 (%)	M4 (%)	M5B (%)	M9 (%)
Fe	62,65	45,81	53,11	49,83	44,15
Fe magnético	61,12	41,92	51,64	46,69	35,55
FeO	27,02	20,84	23,57	22,99	26,80
P	0,258	0,285	0,094	0,136	0,298
S	0,547	0,806	0,500	0,511	0,233
SiO ₂	5,3	14,4	13,0	14,5	19,8
CaO	2,24	4,44	2,40	2,10	1,60
MgO	0,92	4,55	3,80	4,20	3,30
Al ₂ O ₃	0,82	3,50	2,20	3,60	5,50
V	0,16	0,15	0,10	0,20	0,04
TiO ₂	0,38	0,35	0,20	0,80	0,50
Cu	0,000	0,001	0,001	0,001	0,010
Mn	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05
Na ₂ O	0,09	0,14	0,13	0,36	0,42
K ₂ O	0,21	1,47	0,80	0,90	2,06

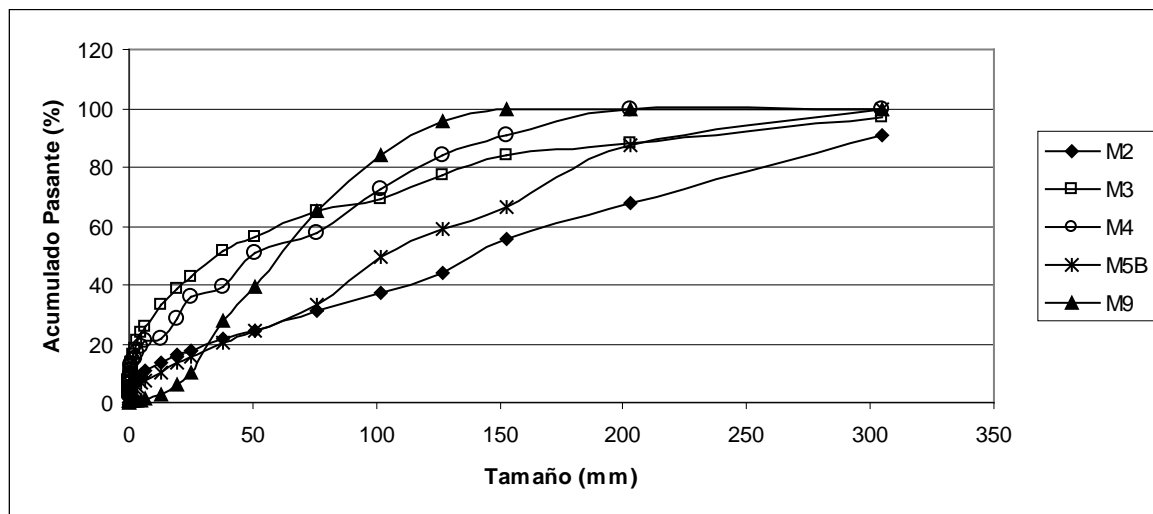


Figura 1. Análisis granulométrico de las muestras

2.3. Preparación de las Muestras

Las muestras fueron sometidas a una reducción de tamaño inicial para obtener dos productos: 100% - 25,4 mm y 100% - 38,1 mm. Posteriormente se realizaron ensayos en poleas electromagnéticas (concentración primaria), para eliminar el material estéril presente, variándose la velocidad de rotación (26 y 35 rpm) y el flujo de alimentación (10,10 y 13,96 kg/m). Luego, el producto obtenido en las poleas se llevó a un equipo *Roller Press* con el fin de obtener un tamaño 100% - 6,35 mm, las variables operacionales consideradas en el molino fueron las siguientes: presión hidráulica ($1,5 \times 10^6$ Pa), velocidad (0,43; 0,77 y 1,21 m/s) y presión N₂ ($3,0 \times 10^6$; $4,0 \times 10^6$ y $5,0 \times 10^6$ Pa). Una vez obtenido el tamaño de producto deseado, se realizaron pruebas de concentración en un tambor magnético HSD variando la velocidad del tambor (30; 50; 70; 90 y 110 rpm) y el flujo de alimentación (3,7; 4,7 y 5,6 kg/m).

3. RESULTADOS

En la tabla II se presenta la caracterización física y química de las muestras que se sometieron a estudio, después que las muestras recibidas desde minas El Algarrobo fueron reducidas de tamaño y separadas en dos productos.

Tabla II. Caracterización física y química de las muestras que fueron sometidas a estudio

Muestra	Wi (kWh/t)	Producto 1				Producto 2			
		Fe magnético %	P %	SiO ₂ %	Tamaño - 6,35 mm %	Fe magnético %	P %	SiO ₂ %	Tamaño - 6,35 mm %
M9	13,20	38,63	0,423	15,8	22,60	32,20	0,369	19,9	11,24
M2	13,20	61,15	0,276	5,4	41,64	61,47	0,247	4,65	31,97
M3	8,77	40,13	0,477	18,7	34,07	39,80	0,633	18,5	34,20
M4	9,82	47,97	0,124	15,0	41,51	50,12	0,080	14,3	32,54
M5B	10,83	43,34	0,064	17,7	47,08	46,90	0,080	15,8	25,52

Los resultados alcanzados en las pruebas realizadas en las dos poleas electromagnéticas se muestran en la tabla III. Se observa en dicha tabla que bajo las condiciones experimentales estudiadas, las mejores recuperaciones metalúrgicas magnéticas se obtuvieron, en general, en la prueba 1, la cual se realizó con material 100% -25,4 mm y aplicando 26 rpm en la velocidad de rotación de la polea. Es por ello que éstas fueron las condiciones elegidas para efectuar las pruebas en poleas electromagnéticas que permitieron obtener un concentrado para la realización de las pruebas de reducción de tamaño en el *Roller Press*.

Tabla III. Resultados obtenidos en las pruebas realizadas en poleas electromagnéticas para “Producto 1” y “Producto 2”.

Muestra	Recuperación en peso (%)				Recuperación metalúrgica (%)				Recuperación metalúrgica magnética (%)			
	Prueba				Prueba				Prueba			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
M2	99,21	99,31	98,55	98,71	99,67	99,70	99,20	99,33	99,71	99,75	99,30	99,38
M3	90,10	90,23	89,38	88,45	97,76	96,51	97,60	97,19	99,28	97,45	99,27	98,91
M4	96,38	96,31	94,63	94,51	99,02	99,21	98,40	98,46	99,46	99,65	99,01	99,10
M5B	96,58	95,56	93,25	92,31	98,97	98,55	98,22	97,42	99,35	98,97	99,01	98,11
M9	82,57	79,35	73,32	72,22	94,52	91,82	89,84	88,69	97,94	95,83	94,09	93,49

El consumo de energía específica y el porcentaje pasante acumulado para las muestras M2, M3, M4, M5B y M9 tratadas en el *Roller Press* se presentan en la figura 2. En esta figura se observa que el consumo de energía específica presenta una variación entre 1,11 kWh/t (M2) y 1,33 kWh/t (M9) y las granulometrías -6,35 mm fluctúan entre 55,9% (M9) y 78,3% (M5B), siendo la muestra M9 la que presentó el mayor consumo de energía específica y también con ella se obtuvo un menor porcentaje de material -6,35 mm.

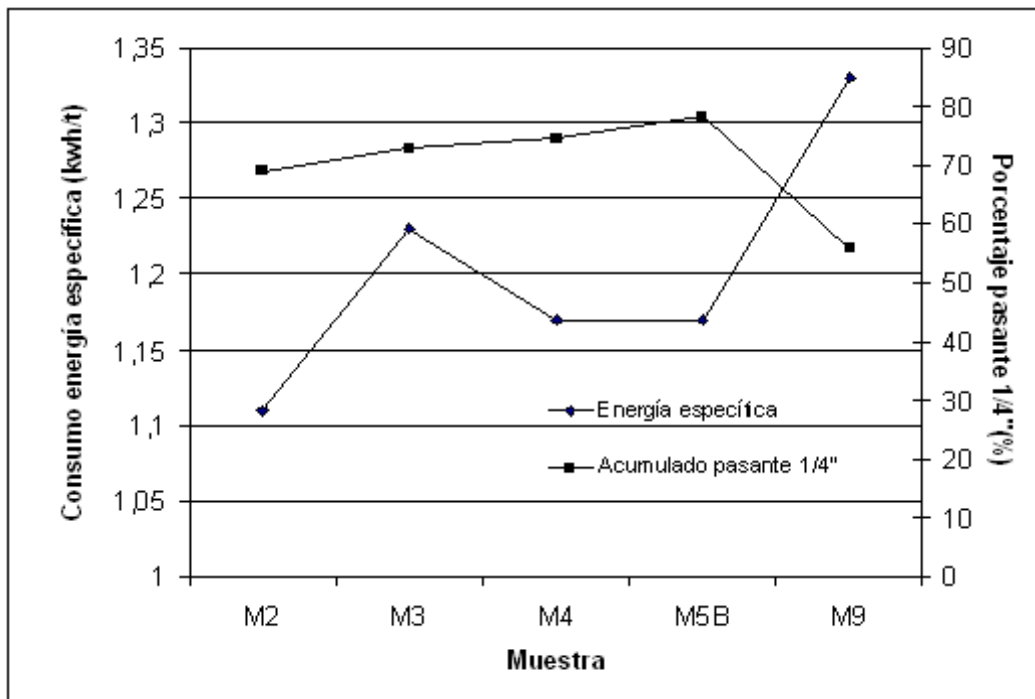


Figura 2. Consumo de energía específica y porcentaje pasante acumulado -6,35 mm para la reducción de tamaño en *Roller Press* de las muestras M2, M3, M4, M5B y M9.

En la tabla IV se muestran los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el separador magnético HSD con la muestra M9, mientras que en la tabla V se presentan los resultados alcanzados con este mismo separador al tratar las muestras M2, M3, M4 y M5B. Al utilizar el separador magnético HSD los mejores resultados fueron obtenidos con una velocidad de rotación del tambor magnético de 30 rpm y un flujo de alimentación de 3,7 kg/m, alcanzándose valores de recuperación metalúrgica magnética de 94,11% (M9), 98,54% (M2), 96,48% (M3), 97,86% (M4) y 96,61% (M5B). En todos estos casos, los contenidos de Fe magnético fueron superiores a 54%, la cantidad de P fue inferior al 0,35% y la sílice presente era menor al 9,5%.

Tabla IV Resultados de las pruebas realizadas en el separador HSD con la muestra M9.

Prueba	Recuperación (%)		
	En peso	Metalúrgica	Metalúrgica magnética
H1	41,47	52,84	61,18
H2	39,72	51,06	58,33
H3	29,34	38,64	44,50
H4	51,88	66,14	74,71
H5	53,65	67,18	76,13
H6	27,01	34,55	40,04
H7	63,81	78,94	87,71
H8	63,45	78,59	87,66
H9	71,17	86,46	94,11
H10	72,56	86,58	93,49

Tabla V. Resultados de las pruebas realizadas en el separador magnético HSD para las muestras M2, M3, M4 y M5B (Rp: recuperación en peso; Rm: recuperación metalúrgica; Rmm: recuperación metalúrgica magnética).

Prueba	Muestra M2			Muestra M3			Muestra M4			Muestra M5B		
	Recuperación			Recuperación			Recuperación			Recuperación		
	Rp	Rm	Rmm	Rp	Rm	Rmm	Rp	Rm	Rmm	Rp	Rm	Rmm
H1	91,35	95,78	96,30	73,32	89,58	92,42	85,69	93,97	95,77	76,10	91,21	93,51
H2	91,63	95,88	96,48	73,00	89,83	92,87	85,65	93,59	95,52	76,44	91,64	94,02
H3	85,99	90,73	91,35	65,48	83,31	86,04	78,96	88,23	89,53	68,65	84,83	87,45
H4	94,84	97,69	98,03	79,75	93,78	96,11	89,35	95,30	96,07	82,64	94,19	95,98
H5	94,59	98,12	98,54	80,50	94,21	96,48	89,40	96,86	97,86	81,96	94,58	96,61
H6	84,99	89,58	90,05	63,88	80,67	83,27	76,49	85,05	86,41	69,35	84,83	87,44

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo fueron las siguientes:

Las muestras que fueron sometidas a estudio presentaron una cantidad de hierro magnético comprendido entre 32,20% y 61,47 %, siendo la muestra M2 la que presentó el mayor contenido. La menor cantidad de fósforo correspondió a la muestra M5B con un 0,064%, mientras que la muestra M2 presentó el menor contenido de sílice (4,65%). En cuanto a la dureza de las muestras, el índice de trabajo (Wi) fluctuó entre 8,77 y 13,20 kWh/t, siendo las muestras M2 y M9 las más duras y M3 la más blanda.

En las pruebas realizadas con las poleas electromagnéticas, los mejores resultados se obtuvieron con la muestra M2. En general, el mejor rendimiento se alcanza cuando las poleas operan con 26 rpm y el material utilizado presenta tamaños inferiores a 25,4 mm.

Para la reducción de tamaño de las muestras con el *Roller Press* los valores de consumo de energía específica de las muestras variaron desde de 1,1 kWh/t a 3,3 kWh/t, mientras que el porcentaje pasante acumulado -6,35 mm de las muestras osciló entre 56% y 78%. La muestra M9 fue la que presentó el mayor valor de consumo de energía específica y también con ella se obtuvieron los menores porcentajes pasantes -6,35 mm.

En las pruebas realizadas en el tambor magnético HSD las condiciones más adecuadas para estos ensayos fueron, velocidad de rotación: 30 rpm y flujo de alimentación: 3,7 kg/m. En estas condiciones se alcanzaron recuperaciones metalúrgicas magnéticas de 94,11% (M9), 98,54% (M2), 96,48% (M3), 97,86% (M4) y 96,61% (M5B). En todos estos casos, los contenidos de Fe magnético fueron superiores a 54%, el P inferior al 0,35% y la sílice menor al 9,5%.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cereceda, L. Validación de parámetros metalúrgicos en el proceso de obtención de pre-concentrado de fierro desde minas El Algarrobo. Trabajo de Titulación Ingeniero Civil en Metalurgia. Departamento de Metalurgia, Universidad de Atacama, 171 p, 2010.
- Guigon, P. & Simon, O. Roll press design – Influence of force feed systems on compactation. *Powder Technology*, 130: 1-3, p. 41-48, 2003.
- Kreisberg, A.J. Selection and application of roller press for raw meal preparation at Alpena. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28: 4, p. 954-961, 1992.
- Strasser, S. & Wolter, A. Future potential for grinding with roller press. *Zemente-Kalk-Gips*, 44: 7, p. 345-350, 1991.