

EVALUACIÓN TÉCNICA DE UNA ALTERNATIVA PARA OBTENER PELLET FEED DESDE UN MINERAL DE BAJA LEY DE MINAS EL ROMERAL

C. Arredondo¹, F. Parra¹, A. Rodríguez¹

1. Unidad de Investigaciones Metalúrgicas, Planta Pellets, CMP, Brasil 1050, Vallenar-Chile.
carredondo@cmp.cl, fparra@cmp.cl, arodriguez@cmp.cl

Resumen

Este trabajo presenta un estudio de evaluación técnica para una alternativa de tratamiento de minerales de baja ley de Minas El Romeral, para la obtención de concentrado de hierro o pellets feed con características físicas y químicas acorde a especificaciones de mercado. Esta alternativa, contempla modificaciones en el esquema de procesamiento actual, las cuales parten con la inclusión de un molino de rodillos posterior a la etapa de chancado, situación que afecta a las etapas posteriores de preconcentración, molienda y concentración. Para observar el comportamiento del mineral de baja ley con el nuevo esquema de procesamiento, fue necesario realizar pruebas metalúrgicas, incluyendo una prueba industrial en la planta de beneficio de Mina Los Colorados perteneciente a Compañía Minera Huasco (CMH), en donde existe un molino de rodillos en el proceso. En esta prueba se procesó un mineral de baja ley de hierro proveniente de Minas El Romeral proveniente de la planta de chancado de esa faena y con tamaño 100% igual o inferior a 1 pulgada. De la prueba se obtuvo un producto con tamaño menor o igual a 6 milímetros, material utilizado para la realización de pruebas metalúrgicas en la Unidad de Investigaciones de Procesos Metalúrgicos de Compañía Minera del Pacífico. Las pruebas se realizaron a escala de laboratorio y piloto. Las pruebas comprendieron concentración magnética en seco y en húmedo, y concentración por flotación inversa neumática. Como resultado de estas pruebas se obtiene un concentrado de hierro con una ley de hasta 70,5% de hierro y 1,59% de sílice.

Abstract

The objective of this work is to evaluate technical features for one alternative of treatment minerals of low grade from Minas El Romeral for obtaining iron concentrate or pellets feed with physical and chemical properties needs for some specific market. The alternative studied change the scheme of the plant, include rolling mill after crushing step influencing the pre-concentration, milling and concentration steps. To study the low grade mineral behavior was need made metallurgical test in laboratory and industrial test in the Los Colorado mine of the Compañía Minera Huasco (CMH) where there is a rolling mill working. It was used a low grade mineral from Minas El Romeral with a size less than 25 mm. It was obtained a product with a size less than 6 mm, material used for carry out metallurgical test in the Unidad de Investigaciones de Procesos Metalurgicos of the Compañía Minera del Pacífico. The samples were studied in laboratory and pilot plant in magnetic and dry concentration, and pneumatic inverse flotation after was made. As result a concentrate of 70,5% of iron and 1.59% of silica was obtained.

1. Introducción

El agotamiento de las reservas de minerales de alta ley, ha llevado a que se busquen alternativas de tratamiento de minerales de menor ley de manera rentable y eficiente. Compañía Minera del Pacífico no escapa a esa tendencia, y específicamente Minas El Romeral, que debido al agotamiento de los recursos con alta ley de hierro provenientes de la mina, se ha visto en la necesidad de estudiar la explotación de recursos con baja ley los cuales han sido depositados en acopios a través de los años. Para ello se han estudiado y analizado diferentes alternativas metalúrgicas, que permitan procesar minerales de baja ley y/o altas impurezas, que implique una baja inversión, aprovechando al máximo las actuales instalaciones de la planta de beneficio, y que a su vez, permita producir un concentrado de hierro o Pellets Feed con calidad internacional, aumentando de esa forma la vida útil de ese yacimiento.

Una de las alternativas estudiadas es el procesamiento de material en las actuales instalaciones agregando una etapa de flotación neumática a la etapa final de concentración, con el fin de reducir el contenido de impurezas y aumentar la ley de hierro del concentrado. Para así de esa manera alcanzar las leyes exigidas por los mercados.

Una segunda alternativa, motivo del presente trabajo, contempla realizar modificaciones en la etapa de preconcentración. Se incorpora un molino de rodillos previo, con el objetivo de mejorar la liberación de partículas útiles y así incrementar la recuperación de ellas. Ambas alternativas están sujetas a la condición de utilizar al máximo las instalaciones actuales, como ya se había mencionado anteriormente, dando prioridad a la alternativa que presente mejores parámetros económicos y técnicos. Por tanto, uno de los objetivos de este trabajo es obtener parámetros metalúrgicos mediante la realización de pruebas a escala piloto o laboratorio de acuerdo a esquemas de procesamiento mencionado anteriormente.

2. Metodología

El desarrollo del estudio contempló pruebas a escala de laboratorio, piloto y a escala industrial.

2.1 Preconcentración

El mineral fue obtenido de una prueba especial desarrollada en planta de beneficio de mina Los Colorados (CMH). Para lo cual se utilizó aproximadamente 280 toneladas de un mineral proveniente de acopios de baja ley de minas El Romeral. Este mineral previamente fue procesado en planta de chancado de ese lugar obteniéndose un material con tamaño 100% inferior a 1 pulgada. El mineral fue sometido en su totalidad a una etapa de reducción de tamaño en molino de rodillos.

Del producto obtenido, una fracción se somete a una etapa de clasificación y luego a preconcentración magnética en seco en tambores HSD (High Speed Drum), figura 1, en la misma planta, mientras que la fracción restante se utilizó en pruebas de preconcentración magnética en húmedo en baterías tipo Rougher y Finisher (2 etapas), figura 1. Todas estas pruebas se realizaron siguiendo el esquema de procesamiento de la planta preconcentradora de El Romeral. De las pruebas de preconcentración, tanto en húmedo como en seco, se realizó una mezcla de ambos y se obtuvo un compuesto de preconcentrado el que fue alimentado a la etapa de molienda y concentración.

Dentro de lo que respecta a la etapa de molienda concentración, se consideraron pruebas de molienda, hidroseparator, concentración magnética en húmedo y concentración por flotación neumática inversa de hierro.

Rougher Finisher

Las características condiciones de operación usadas en el tambor HSD y las etapas Rougher y Finisher se entregan en la continuación:

HSD

Diámetro del tambor : 39 in

Largo del tambor : 46 in
 Intensidad de campo : 1000 G
 Velocidad de giro : 50 – 140 rpm
 Alimentación nominal : 15 tmph/m
 tambor

Rougher

Diámetro tambor: 48 in
 Intensidad de campo: 1000 G
 Sólidos: 40 %
 Alimentación: 12 tmph/pie
 Tipo de estanque: Contrarrotación

Finisher

Diámetro tambor: 48 in
 Intensidad de campo: 1000 G
 Sólidos: 40 %
 Alimentación: (1 etapa 10, 2 etapa 7.2) tmph/pie
 Tipo de estanque: Contrarriente

2.2 Molienda y Concentración

Para todas las alternativas se realizó en primer lugar una etapa de molienda del compuesto de preconcentrado hasta obtener un producto con tamaño 80% bajo la malla 325 ($45 \mu\text{m}$). Se continuó con la etapa de hidroseparación para eliminar las lamas resultantes de la molienda, con ello se aseguró además la eliminación de una gran cantidad de impurezas.

(a) Alternativa 1

Se siguió el esquema mostrado en la figura 2a. En esta etapa se obtiene un sobre flujo como rechazo y un bajo flujo como producto útil de la etapa de hidroseparación. Este último se concentró en húmedo en tambores magnéticos de 48 (in) de diámetro y 1000 (G) de intensidad de campo magnético. Esta concentración se compone de una etapa Rougher en primer lugar, seguida de dos etapas de repaso del concentrado o etapas Finisher. El concentrado obtenido de esta etapa se limpia o concentra nuevamente mediante flotación neumática inversa.

(b) Alternativa 2

Se siguió el esquema mostrado en la figura 2b. En esta alternativa en la etapa de concentración magnética en húmedo, se sometió el preconcentrado a una etapa rougher y posteriormente a una nueva etapa de hidroseparación. El bajo flujo de esta etapa se procesó en 2 etapas Finisher realizadas en tambores de 48 [in] de diámetro y 1000 [G] de intensidad de campo magnético, para luego continuar con la flotación neumática.

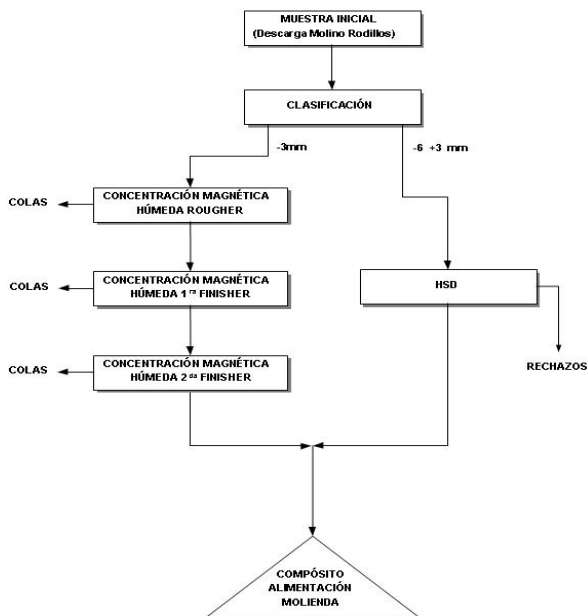


Figura 1. Esquema de flujo de procesamiento, etapa de preconcentración.

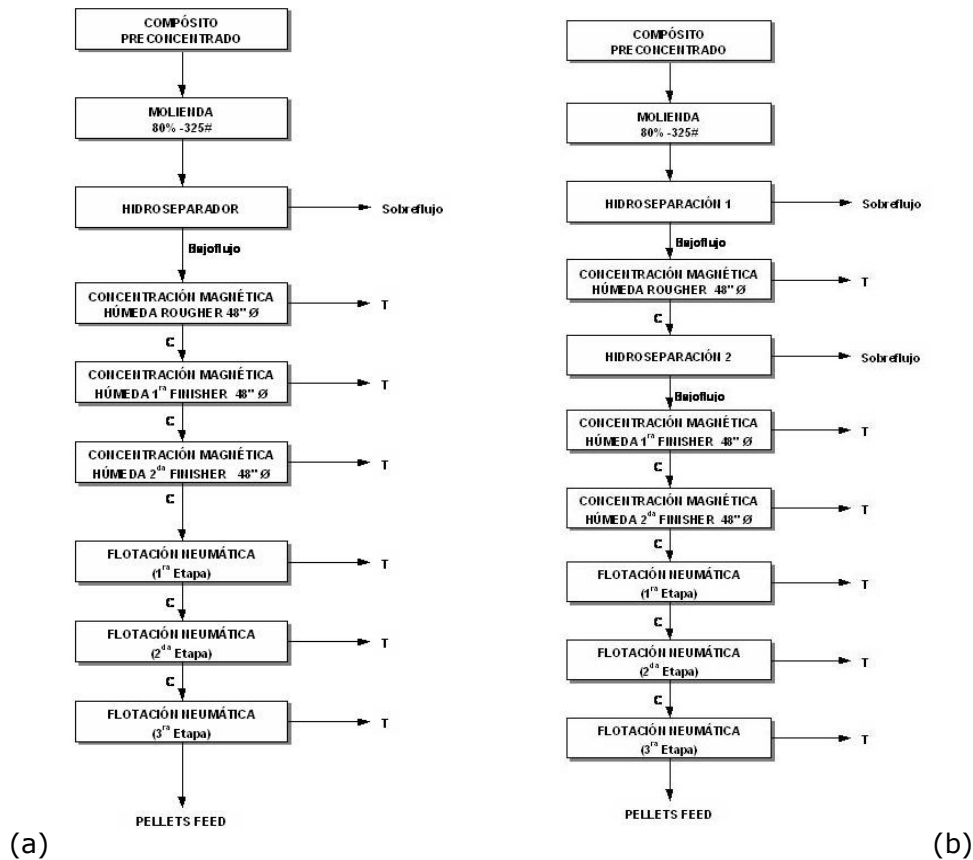


Figura 2. Esquema flujo de procesamiento etapa de molienda-concentración, (a) alternativa 1 y (b) alternativa 2.

2.3 Flotación neumática

(a) Proceso 1

El objetivo orientado a buscar la mejor fórmula de reactivos variando la dosificación del espumante y del depresante, manteniendo fija la cantidad de colector adicionado. Alimentación: 4,5 (l/min), porcentaje de sólidos: 35 (%), presión de aire: 1,5 (bar), altura de cono : 50%. Las pruebas fueron realizadas con 10, 15 y 20 (g/l) de espumante y con 0, 25 y 50 (g/l) de depresante.

Reactivos:

Depresante: Dextrina Amidex 182

Espumante: Mezcla MIBC / Aceite de Pino (70/30)

Colector: Lilafloc D 817 M (110 g/t)

(b) Proceso 2

Estas pruebas se realizan con el objetivo de conocer la influencia de algunas variables operacionales sobre la calidad del concentrado, tales como presión de aire y altura de cono regulador de espuma. Se utilizaron iguales condiciones que en la alternativa 1. Los valores de presión de aire usados fueron 1.0, 1.5 y 2.0 (bar) y para la altura de cono 0, 50 y 100%

Reactivos

Espumante : Mezcla MIBC / Aceite de Pino (70/30) (20 g/t)

Colector : Lilafloc D 817 M (110 g/t)

(c)Proceso 3

Estas pruebas se realizan para evaluar otro tipo de colector al usado habitualmente (Lilaflot D 817 M), compuesto por una mezcla de otros colectores, Flotigam 2835 2L y Flotigam EDA en una proporción de 3/1. Se utilizaron iguales condiciones que en la alternativa 1

Reactivos

Depresante: Dextrina Amidex 182

Espumante: MIBC

Colector: Flotigam 2835 2L / EDA (3/1) (110 g/t)

3 Resultados y discusión

3.1 Preconcentración

El material resultante de la prueba industrial en Los Colorados se caracterizó, obteniéndose una ley de hierro de 31,21% y una ley de SiO₂ de 27,80%.

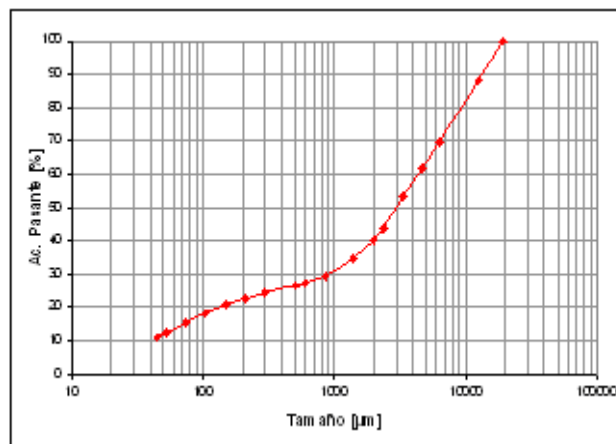


Figura 3: Análisis granulométrico mineral proveniente descarga molino de rodillo

La fracción de material con un tamaño entre los -6 +3 mm se utilizó para pruebas de concentración en seco en tambor HSD, los resultados se entregan en la tabla 1. La fracción de material -3mm se sometió a una concentración magnética en húmedo,

realizada en tres etapas. Los resultados de la última etapa en la tabla 2 (Finisher).

Se observa que en la fracción de material -3mm se obtiene una concentración superior de hierro. Las leyes fueron determinadas mediante análisis químico de vía húmeda.

Tabla 1: Resultados prueba de concentración en seco tambor HSD.

	Leyes (%)		%Rp - %Rm
	Fe	SiO ₂	
H	31,10	28,97	
C	46,70	17,21	58,23 - 87,44
M	16,26	37,66	
T	7,15	47,83	

Tabla 2: Resultados prueba de concentración en húmedo etapa Finisher (2^{da} pasada).

	Leyes (%)		%Rp	%Rm
	Fe	SiO ₂		
H	50,63	15,12		
C	53,27	13,54	94,51	99,44
T	5,18	42,32		

Una vez realizadas las etapas de preconcentración del mineral, se realizó un compuesto de concentrado para alimentar el molino de bolas. El compuesto se formó con un 20% de preconcentrado obtenido del tambor HSD, más un 80% de concentrado obtenido de las pruebas de concentración en húmedo (concentrado 2^{da} etapa Finisher), proporciones acordes a las recuperaciones en peso acumuladas obtenidas. La figura 4 muestra el análisis granulométrico del compuesto obtenido. En la tabla 3 se entrega el análisis químico del compuesto. Se observa que la ley de hierro ha aumentado alrededor de 60%, con respecto al mineral inicial. Por tanto, la etapa de preconcentración ha sido bastante efectiva.

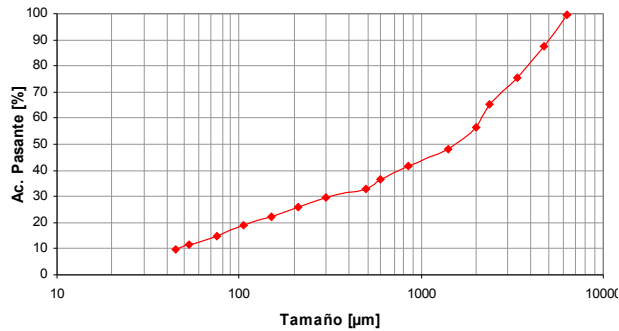


Figura 4: Caracterización granulométrica compósito alimentación molino de bolas.

Tabla 3: Caracterización química compósito alimentación molino de bolas.

Elemento	%
Fe	52,64
SiO ₂	13,87
P	0,229
S	0,679
CaO	2,77
Al ₂ O ₃	2,92
MgO	2,78
V	0,25
Cu	0,046
TiO ₂	0,375
Na ₂ O+K ₂ O	0,487

3.2 Molienda y concentración

Los resultados se entregan en la tabla 4 y 5 para las alternativas 1 y 2, respectivamente. Un análisis de los resultados muestra que los parámetros metalúrgicos son levemente superiores en la alternativa 1. Se debe observar además que esta alternativa implica menos etapas de procesamiento, por el hecho que no incluye una segunda etapa de hidroseparator después de la concentración magnética húmeda Rougher. Un resumen de los datos obtenidos de ambas alternativas se entrega en la tabla 6.

Tabla 4: Resultados generales alternativa 1**a) Alimentación Molienda 80%-325 #**

	%R.Peso		Leyes (%)						%RmFe		%Rm Fe mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
H	100,00	100,00	52,64	51,66	68,31	13,87	2,58	75,62	100,00	100,0	100,00	100,00

b) Hidroseparación

	%R.Peso		Leyes (%)						%RmFe		%Rm Fe mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
S. Flujo	4,82	4,82	4,11	1,74	-	48,20	-	-	0,38	0,38	0,16	0,16
B. Flujo	95,18	95,18	55,10	54,19	68,59	12,13	2,77	79,00	99,62	99,62	99,84	99,84

c) Concentración Magnética Húmeda Rougher, Etapa 1 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R.Peso		Leyes (%)						%RmFe		%Rm Fe mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	91,76	87,33	59,80	58,90	68,65	8,66	2,59	85,80	99,58	99,21	99,74	99,58
T	8,24	7,85	2,79	1,70	-	50,75	-	-	0,42	0,42	0,26	0,26

d) Concentración Magnética Húmeda Finisher, Etapa 1 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R.Peso		Leyes (%)						%RmFe		%Rm Fe mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	89,92	78,53	66,01	65,04	68,57	4,45	2,59	94,85	99,26	98,47	99,29	98,87
T	10,08	8,80	4,40	4,15	-	46,22	-	-	0,74	0,74	0,71	0,71

e) Concentración Magnética Húmeda Finisher, Etapa 2 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R.Peso		Leyes (%)						%RmFe		%Rm Fe mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	97,60	76,64	67,50	66,53	68,55	3,44	2,64	97,05	99,80	98,27	99,83	98,70
T	2,40	1,89	5,50	4,56	-	46,47	-	-	0,20	0,20	0,17	0,17

Tabla 5: Resultados generales alternativa 2

a) Alimentación Molienda 80%-325#

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
H	100,00	100,00	52,64	51,66	68,31	13,87	2,58	75,62	100,00	100,0	100,00	100,00

b) Hidroseparación 1

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
S. Flujo	4,82	4,82	4,11	1,74	-	48,20	-	-	0,38	0,38	0,16	0,16
B. Flujo	95,18	95,18	55,10	54,19	68,59	12,13	2,77	79,00	99,62	99,62	99,84	99,84

c) Concentración Magnética Húmeda Rougher, Etapa 1 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	91,76	87,33	59,80	58,90	68,65	8,40	2,59	85,80	99,58	99,21	99,74	99,58
T	8,24	7,85	2,79	1,70	-	53,64	-	-	0,42	0,42	0,26	0,26

d) Hidroseparación 2

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
S. Flujo	4,74	4,14	4,11	0,93	-	40,57	-	-	0,33	0,32	0,08	0,07
B. Flujo	95,26	83,19	62,57	61,79	68,65	6,80	2,48	90,00	99,67	98,88	99,92	99,50

e) Concentración Magnética Húmeda Finisher, Etapa 1 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	93,62	77,89	66,36	65,74	68,65	4,12	2,53	95,76	99,29	98,51	99,62	99,12
T	6,38	5,30	6,92	3,72	-	46,15	-	-	0,71	0,70	0,38	0,38

f) Concentración Magnética Húmeda Finisher, Etapa 2 (48"Ø, 1000 Gauss)

	%R. Peso		Leyes (%)						%RmFe		%RmF e mag.	
	Parcial	Acum.	Fe	Femag	Fe Dtt	SiO ₂	SiO ₂ Dtt	Dtt	Parcial	Acum.	Parcial	Acum.
C	97,92	76,27	67,58	66,97	68,55	3,38	2,64	97,70	99,72	98,23	99,76	98,88
T	2,08	1,62	8,95	7,67	-	38,94	-	-	0,28	0,28	0,24	0,24

Tabla 6: Resumen resultados alternativas para etapa molienda – concentración.

	Esquema 1	Esquema 2
%Fe	67,50	67,58
%SiO ₂	3,44	3,38
%Rm Fe	98,27	98,23
%Rp	76,64	76,27

3.3 Flotación neumática

A continuación se entregan los resultados de las diferentes variables que se estudiaron en la etapa de flotación neumática.

(a) Proceso 1

En este set de prueba se encontró que al aumentar la dosificación de estos reactivos, disminuye la calidad del concentrado. Individualmente, se detecta un efecto similar. En los casos en que no se agrega depresante y la dosificación de espumante es de 20 g/t se obtiene la mayor ley de hierro y por consiguiente una menor ley de Sílice (68,39% y 2,68%, respectivamente). Los mejores valores para estas variables fueron; 20 y 0 g/t, para espumante y depresante, respectivamente

(b) Proceso 2

Los resultados obtenidos de este set de pruebas, indican, que la mayor influencia esta relacionada con la presión de aire. La influencia de altura del cono fue bastante menos significativa. Se encontró una influencia negativa en el proceso cuando la presión aire se aumentó y cuando se disminuyó la altura del cono. Las mejores condiciones encontradas fueron: Presión de aire = 1.0 bar y altura de cono = 100%

(c) Proceso 3

Los resultados muestran que la mezcla de colectores (Flotigam 2835 2L y Flotigam EDA) presentan una buena respuesta para la obtención de un concentrado de buena calidad. La mejor condición obtenida ofrece los mismos resultados que la encontrada para el colector Lilafлот D 817 M. En la Tabla 7 se muestra una comparación entre los

resultados obtenidos para ambos colectores, bajo las mismas condiciones. De la tabla señalada, se puede concluir que las calidades obtenidas para ambos tipos de colectores son muy similares. La diferencia entre estos dos colectores está en las recuperaciones tanto en peso como metalúrgica. El colector Lilafлот D 817 M entrega una recuperación metalúrgica de 86,42% mientras que la mezcla de colectores Flotigam solo entrega una recuperación de 81,09%. Por esto, se opta por el colector Lilafлот D 817 M. Los resultados obtenidos de una prueba exploratoria para optimizar el consumo de colector, son los que se muestran en la tabla 7.

Tabla 7: Comparación calidad de concentrado obtenido de flotación neumática utilizando dos tipos de colectores.

Condiciones	Colector	Lilafлот D 817 M	Flotigam 2835/EDA
	Dosis Colector (g/t)	110	110
	Dosis Espumante (g/t)	20	20
	Dosis Depresante (g/t)	0	0
Calidad	%Fe	70,55	70,95
	%P	0,012	0,009
	%S	0,040	0,042
	%SiO ₂	1,59	0,80
	%CaO	0,31	0,24
	%MgO	0,29	0,24
	%Al ₂ O ₃	0,41	0,30
	%TiO ₂	0,13	0,15
	%V	0,310	0,330
	%Cu	0,003	0,004
	%Mn	0,05	0,05
	%Na ₂ O	0,06	0,04
	%K ₂ O	0,02	0,02
Recuperación en Peso (%)		82,38	77,13
Recuperación Metalúrgica (%)		86,42	81,09

4. Conclusiones

Las pruebas metalúrgicas indican que la calidad alcanzada en la etapa de preconcentración es bastante aceptable considerando que el mineral inicial presenta una baja ley de hierro (52,64%). Cabe señalar que para un mineral de alta ley se alcanzan leyes de entre 56% a 59% de hierro.

La inclusión del molino de rodillos genera microfracturas en las partículas de mineral lo que a su vez mejora la etapa de molienda y por ende una mayor liberación de partículas útiles.

El concentrado obtenido de la etapa de flotación neumática cumple satisfactoriamente con las calidades exigidas por los mercados internacionales, por lo que se puede concluir que la obtención de concentrado de hierro desde minerales de baja ley es técnicamente viable.

5. Nomenclatura

T: Descartes o Relaves del proceso

C: Concentrado del proceso

M: Fracción mixta de la etapa de concentración en tambor HSD, que dependiendo de su ley, se junta con el concentrado o con los descartes.

Rm: Recuperación Metalúrgica

Rp: Recuperación en Peso

Fe Dtt: Ley de hierro analizada en el concentrado de las pruebas de tubo Davis, realizada para determinar el hierro magnético.

SiO₂ Dtt: Ley de Sílice analizada en el concentrado de las pruebas de tubo Davis, realizada para determinar el hierro magnético.

Dtt: (Davis Test Tube) Prueba de Tubo Davis

6. Bibliografía

J. SVOBODA., Magnetic Methods for the Treatment of Mineral, Elsevier Science Publishers B. V., 1987.

SVEDALA, Wet Low Intensity Magnetic Separators, Catálogo Svedala.

KHD HUMBOLDT WEDG, Roller Presses: Crushing and Grinding for Ore and Minerals, Catálogo KHD

R. IMHOF, S. SÁNCHEZ, H. CÁRCAMO, Aplicación industrial de la Flotación Neumática en Chile, Minería Chilena N° 189.

COMPAÑÍA MINERA DEL PACÍFICO, Seminario "Proceso y Operación Planta de Pellets", Compañía Minera del Pacífico, 1994.