

DETECCIÓN DE ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS EN RELAVES Y RIPIOS EN PLANTAS DE LA EMPRESA NACIONAL DE MINERÍA

L. Valderrama (1); O. Pavez (2); S. Rojas (2); D. Olguín (3)

(1) Instituto de Investigaciones Científicas Tecnológicas, Universidad de Atacama

(2) Departamento de Metalurgia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama

(3) Administrador Planta Osvaldo Martínez-ENAMI-El Salado

RESUMEN

En los últimos años las industrias electrónicas, aeroespaciales, nucleares, petroquímicas, biomédicas, militares, etc., han tenido un gran desarrollo científico y tecnológico, gracias a los materiales que contienen TR, los cuales pasan prácticamente desapercibidos entre nosotros, no obstante, son imprescindibles en numerosas aplicaciones y en dispositivos que ya se consideran cotidianos. La utilidad de estos materiales radica en sus propiedades químicas, magnéticas, ópticas o electrónicas. Los minerales que presentan elementos de TR están ampliamente distribuidos en la corteza terrestre, sin embargo, su distribución dispar y la diversidad en su composición, incide en que muchos países carezcan de la tecnología para beneficiarlos. Estos yacimientos constituyen de por sí en recursos estratégicos, de importancia vital en la actualidad para el desarrollo de los países. Es en este sentido, es que el presente trabajo de investigación está orientado a determinar y a estudiar la presencia de elementos de TR en los tranques de relaves y depósitos de rípios en las Plantas de beneficios de minerales, en este caso, de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI). Las muestras tomadas en las diferentes plantas fueron sometidas a análisis granulométricos, separación por medios densos y análisis químicos, detectándose que los elementos de las TR más abundantes en los tranques de relaves y rípios es el Cerio, seguido del Lantano, Neodimio e Itrio, y los elementos menos abundantes, son el Lutecio y el Tulio. La abundancia total de los elementos presentes en los tranques de relaves y depósitos de rípios fluctúa entre 250 a 1.000 ppm. Los rípios de la planta Osvaldo Martínez, fueron concentrados mediante líquidos densos y mediante separación magnética, obteniéndose una ley de 17.186 ppm. Aunque las concentraciones no son muy elevadas, pueden ser compensadas por los grandes tonelajes de material que se tratan en formas asociadas a la producción de Cobre y a las granulometrías finas en que se encuentran.

Palabras claves: Tierras Raras (TR), detección, relaves y rípios.

Área Temática: Caracterización de Minerales

INTRODUCCIÓN

La minería Chilena se caracteriza principalmente por el tratamiento de minerales como cobre, oro, plata, hierro y molibdeno. Sin embargo, la corteza terrestre de la Región de Atacama, guarda en su interior otros minerales, cuya utilidad representa un gran potencial económico. Estos son los conocidos minerales estratégicos, que hoy en día son considerados de vital importancia en la industria de alta tecnología, ya que no existen sustitutos para ellos [CORFO, 1986, Rojas, 1994].

Se estima que en los próximos años habrá un crecimiento importante de estos minerales y su utilización será múltiple, principalmente del Neodimio, Samario, Lantano, Cerio e Itrio, para aplicarlos como catalizadores para el petróleo, pulidores para vidrios, aceros, cerámicos, en la industria nuclear y atómica, en la fabricación de súper magnetos, el uso en la electrónica y el desarrollo de nuevos materiales y superconductores. También en láser, en lentes para cámaras de video y fotográficas, para hacerlas irrompibles y que soporten altas temperaturas, en el craqueo catalítico para la elaboración de combustibles y materiales para implantes dentales y óseos [Habashi, 1994].

Los elementos de las TR pueden ser encontradas como constituyentes de las rocas carbonatadas, graníticas, pegmatíticas y en rocas silicatadas. Pueden ser encontrados formando más de 250 diferentes especies minerales; de este total, 55 minerales son los más comunes. Entre los minerales de TR de interés económico pueden ser mencionadas la Monacita, Bastnasita, Xenotima, Gadolinita, Allanita, Loparita, Euxenita y Apatita [Abrão, 1994].

La distribución heterogénea de estos minerales y la diversidad en la composición de sus elementos inciden en que muchos países carezcan de la tecnología para beneficiarlos. En la corteza terrestre la abundancia es del orden de 8×10^{-5} g/g de corteza. Los más abundantes son el Ce, Y, Nd y La. La ocurrencia en la corteza, en ppm (partes por millón) o g/ton es indicada como: Y(31), La (19), Ce (44), Pr (5,6), Nd (24), Sm (6,5), Eu (1,0), Gd (6,3), Tb (1), Dy (4,3), Ho (1,2), Er (2,4), Tm (0,3), Yb (2,6) y Lu (0,7).

La producción de TR está siendo dominada por los depósitos de Bastnasitas; por su parte, la Monacita se produce comercialmente de arenas de playa y en depósitos de placer, en numerosas partes del mundo. La Monacita producida es un subproducto de otros materiales, incluyendo la Ilmenita, el Rutilo y el Circón [Saxman, 2000, Smarj, 1999].

La minería de estos metales estratégicos está en pleno auge. En Japón, Estados Unidos, Corea, Taiwán y los países miembros de la Comunidad Económica Europea, consumen el 90% de la producción mundial y la demanda crece a un ritmo anual del 5%. Los principales productores de estos minerales son: China, Estados Unidos, Australia, India, Brasil, Malasia, Tailandia, Sudáfrica y Sri Lanka, donde se extraen de depósitos de arenas de playas marinas, de zonas de plataforma continental, de terrazas aluviales y de carbonatitos.

Los precios de estos minerales en el mercado mundial, son muy constantes y varían desde los US. 19 (dólares) por un kilogramo de óxido de Cerio hasta US. 320(dólares) el kilogramo de óxido de Europio, y a US. 300(dólares) el kilogramo de Erblio, hasta US.5.000(dólares) el kilo de Tulio en metal. [Smarj, 1999; Jiake and Xiangyong, 1985].

Muchos de los procesos para concentrar estos minerales portadores de TR, usan la concentración gravitacional, la separación magnética, la separación electrostática y la flotación [Abrão, 1994; Pavez, 1993].

En Chile, específicamente en las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo, en los últimos años se

han realizados varios estudios básicos orientados a investigar la posibilidad de encontrar cantidades económicamente significativas de elementos de TR, en rocas ígneas, en rocas sedimentarias y en apatitas; con el fin de recuperarla como subproductos de la minería del hierro y cobre, como así mismo desde minerales radioactivos [CORFO, 1986; Rojas, 1994; Rojas, 2003; CCHEN, 2000].

Este trabajo tiene por finalidad el mostrar la presencia de elementos de TR, que se encuentran en los tranques de relaves y depósitos de ripios de la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), y que permitan un beneficio más integral, no sólo para el metal cobre.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras para este estudio fueron obtenidas en los tranques de relaves y ripios de las Plantas José Antonio Moreno (Antofagasta), Osvaldo Martínez Carvajal, Manuel Antonio Matta, Vallenar (Atacama) y Ovalle (Coquimbo). Las plantas procesan minerales oxidados de cobre por lixiviación y minerales sulfurados de cobre por flotación. Los relaves totales estimados son de 14.200.000 toneladas, con una ley promedio de 0,4% de cobre y 0,4 g/t de oro. Los depósitos de ripios son de 4.100.000 toneladas, con una ley de cobre de 0,6% y 0,7 g/t de oro.

Para la elección de los puntos de muestreos, se utilizó una mallas de muestreo, incluyendo la corona y talud de los tranques y ripios. La extracción de las muestras fue realizada mediante un muestreador en espiral tipo Auger; y la sonda tenía un largo de 3 metros. Las muestras extraídas fueron depositadas en bolsas plásticas y selladas, posteriormente las muestras colectadas fueron secadas a una temperatura de 120°C durante 12 horas. Luego, las muestras fueron roleadas, cuarteadas y homogenizadas para obtener muestras para la determinación del peso específico, análisis granulométrico y análisis químico. Las muestras de ripio fueron molidas en un molino de rodillo y posteriormente tamizadas en la malla 12, hasta obtener 100% -12 malla Tyler, para luego ser preparadas al igual que los relaves.

La fracción $- 212 + 105 \mu\text{m}$ del compuesto de ripios de la planta Osvaldo Martínez fueron sometidas a separaciones mediante la utilización de líquidos densos (tetrabromoetano $\rho = 2,95 \text{ g/cm}^3$), seguidas de separación magnética de los productos sedimentados en un tubo Davis, usando una intensidad de campo de 4.000 Gauss.

RESULTADO Y DISCUSIÓN

La tabla 1 y 2 muestran los resultados obtenidos en los análisis granulométricos de los compósitos de los relaves y ripios de las diferentes plantas. La tabla 1 muestra que el relave es un material bastante fino ya que 61,4 % tiene un tamaño menor a la malla 200.

La tabla 2 muestra los resultados del análisis granulométrico de los ripios, en ella se observa que el 86,5% del material tiene un tamaño mayor que 50 mallas.

Tabla 1. Análisis granulométrico del compuesto de relave de las plantas de Enami

Malla	Peso (g)	% Retenido	% Pasante
30	0,0	0,0	100,0
40	0,3	0,2	99,8
50	2,7	1,8	98,0
70	8,8	5,9	92,1
100	15,2	10,1	82,0
140	16,8	11,2	70,8
200	14,2	9,4	61,4
-200	92,4	61,4	0,0

Tabla 2. Análisis granulométrico del compuesto de los rípios de las plantas de ENAMI

Malla	Peso (g)	% Retenido	% Pasante
12	457,0	67	33,0
16	34,6	72,1	29,9
20	31,1	76,6	23,4
30	27,3	80,6	19,4
40	20,7	83,7	16,3
50	19,3	86,5	13,5
70	18,7	89,2	10,8
100	12,9	91,1	8,9
-100	60,5	100,0	00,0

En la tabla 3, se muestra los resultados de los análisis químicos de los elementos de TR para los tranques de relaves de las plantas José Antonio Moreno, Osvaldo Martínez Carvajal, Manuel Antonio Matta, Vallenar y Ovalle. Esta tabla muestra que el elemento más abundante es el Cerio con un promedio de 65 ppm, seguido del Lantano, con 54 ppm, Neodimio con 23 ppm y el Itrio con 20 ppm. Los menos abundantes son el Lutecio y el Tulio con un promedio de 0,4 ppm. El promedio total de TR presentes en el tranque de relaves es de 176,2 ppm.

Tabla 3. Análisis químico de los elementos de TR de los relaves de las plantas de ENAMI (ppm)

Elemento	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Y	Yb	Total
Moreno	51,3	3,3	2,0	0,9	4,2	0,7	31,6	0,3	18,8	5,4	3,7	0,6	0,2	18,9	1,9	143,8
Martínez	115,0	4,7	2,6	1,1	6,4	1,0	74,0	0,4	37,2	11,9	6,5	0,9	0,4	28,6	2,7	293,4
Matta	57,5	2,6	3,0	0,7	3,6	0,6	35,4	0,4	20,1	6,3	3,4	0,5	0,3	17,1	3,0	154,5
Vallenar	64,1	3,7	2,2	1,1	4,3	0,8	41,6	0,3	21,6	6,6	4,1	0,6	0,4	22,5	2,1	176,0
Ovalle	35,1	2,5	1,5	0,8	3,3	5,3	21,4	0,2	16,9	4,5	3,5	0,5	0,2	16,0	1,4	113,1

En la tabla 4, se presenta los resultados de los análisis químicos de los depósitos de rípios de las plantas José Antonio Moreno, Osvaldo Martínez Carvajal, Vallenar y Ovalle.

Tabla 4. Análisis químicos de los elementos de TR de los rípios de las planta de ENAMI (ppm)

Elemento	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Tm	Y	Yb	Total
Moreno	61,8	4,2	2,7	1,1	5,1	0,9	37,9	0,4	23,8	6,7	4,8	0,7	0,4	25,1	2,5	178,1
Martínez	455,0	3,0	1,7	2,4	13,6	0,5	273,0	0,2	127,0	43,6	14,8	1,0	0,1	14,0	1,2	951,1
Vallenar	102,4	4,6	3,0	1,3	6,0	1,0	64,1	0,5	33,4	10,5	5,7	0,8	0,5	28,3	2,8	264,9
Ovalle	40,3	3,2	2,0	1,0	4,0	0,7	23,0	0,3	18,1	5,1	4,0	0,6	0,3	19,3	2,1	124,0

Se puede observar en la tabla que la concentración de elementos de TR en los rípios, son similares a los relaves. a excepción de la planta Osvaldo Martínez que presenta una concentración de 951,1 ppm. Comparando estos resultados con un estudio geológico realizado por la Comisión Chilena de Energía Nuclear en la comuna de Diego de Almagro, lugar de ubicación de esta planta, posemos indicar que el contenido de elementos de TR es mayor (1.900 ppm), pero esta desventaja se puede compensar por el volumen de estos recursos (relaves y rípios) y que el material a concentrar no tendría los costos de mina, chancado y molienda (CCHEN, 2000; Rojas, 2003).

La tabla 5, muestra los resultados obtenidos en la separación de los minerales mediante líquidos densos y concentración magnética para el material retenido en los tamaños $-212 + 105 \mu\text{m}$ del compuesto de relave de la planta Osvaldo Martínez.

Tabla 5. Resultados de la separación de los rípios mediante líquidos densos y concentración magnética.

Elemento	Ce	Dy	Er	Eu	Gd	Ho	La	Lu	Nd	Pr	Sm	Tb	Th	Tm	Y	Yb	Total
Ripio	9.100	68,5	47,8	27,6	190,5	12,7	3830	3,5	2860	420,4	170,2	12,4	54,0	5,3	350,5	32,6	17.186

Los productos flotados de la muestra, presentan leyes de sílice entre 75 – 80% correspondiendo a Cuarzo, Feldespato y Mica. El producto sedimentado corresponde a minerales principalmente Magnetita, Hematita, Apatita, Limonita, Ilmenita y Esfeno. El producto sedimentado fue separado en el tubo Davis para retirar el material magnético, el análisis químico del material no magnético alcanza una ley de 17.186 ppm.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en los tranque de relaves y depósito de rípios, se puede concluir lo siguiente:

La mayor concentración de los elementos de TR se encuentra en los depósitos de rípios en una concentración que fluctúa entre 124 a 951,1 ppm, con una concentración promedio de 380 ppm, mientras que, el contenido de elementos de TR en los tranques de relaves, fluctúa entre 113 a 293 ppm, con una concentración promedio es de 176 ppm. Tanto en los tranques de relaves como en los depósitos de rípios los elementos de las TR más abundantes son el Cerio seguido del Lantano, Neodimio e Itrio; y los elementos menos abundantes son el Tulio y el Lutecio.

Los rípios de la Planta Osvaldo Martínez fueron concentrados mediante líquidos densos y el material hundido (no flotado) fue separado magnéticamente, alcanzando una ley de 17.186 ppm. Como una conclusión final se puede indicar que el contenido de elementos de TR es bajo comparado con otros estudios, pero esto se puede compensar por el volumen que representan estos recursos y que además se encuentran ya molidos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI) por el apoyo financiero para la realización de los análisis químicos de esta investigación, a Juan Aguilera, Guillermo Zarricueta y Cristian Espoz por la valiosa colaboración en la ejecución de los muestreos.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRÃO, A. Química e Tecnologia das Tierras Raras. Serie Tecnología Mineral N° 66. CETEM/CNPQ, 212 p, 1994.
- CCHEN. Geología y Estimación Preliminar de Recursos. Prospecto Cerro Carmen Comuna Diego de Almagro, 2000.
- CORFO, Gerencia de Desarrollo. Comité Sales Mixtas. Proyecto Prospección de Tierras Raras, Informe Final, 1986.
- HABASHI, F. The Discovery and industrialization of the rare earths – Part 1. CIM Bulletin – Historical Metallurgy Notes. Volume 87, N° 976, January 1994.
- JIAKE, L. AND XIANGYONG, C. A new development of mineral processing flowsheet for the treatment of a complex ore containing Fe, rare earths, Nb and F. In: Proceedings of the XV Int. Min. Processing Congress, Cannes June 2 – 9, vol. III, p. 474 – 485, 1985.
- PAVEZ, O. Flotação de Minerais Portadores de Terras Raras. Tesis de Doctorado, CPGEM/UFMG, Belo Horizonte, 1993.
- ROJAS, M. Contenido y Distribución de las Tierras Raras en Apatitas del Yacimiento de Hierro “El Algarrobo”, III Región, Chile, 1994.
- ROJAS, S. Estudio de la existencia de Tierras Raras en tranques de relaves y rípios de las plantas de ENAMI. Trabajo de Titulación de Ingeniero Civil en Metalurgia, Universidad de Atacama. 127 p. 2003.
- SAXMAN, D. GB – 118N Rare Earths: Worldwide Markets, Applications, Technology. Business Communications Company, Inc., p. 3 – 4, 2000.
- SMARJ, J.V. Rare Earths. Department of Mines and Energy. Mineral Information Leaflet N° 2, July 1999.