

ESTUDIO DE UN MINERAL DE COLUMBO-TANTALITA CON ENFOQUE METALÚRGICO PARA DEFINIR EL APROVECHAMIENTO DE DEPÓSITOS DE ARENA CON MINERALES PESADOS

STUDY MINERAL COLUMBITE- TANTALITE WITH METALLURGICAL APPROACH TO DEFINE THE USE OF SAND DEPOSITS WITH HEAVY MINERALS

Graciela A. Castro¹, Andrea A. Díaz¹

(1) Universidad Nacional de San Juan, Instituto de Investigaciones Mineras, Av. Libertador Gral. San Martín 1109 Capital, San Juan - Argentina
e-mail (gracielaacastro@unsj.edu.ar; aadi@unsj.edu.ar)

Recibido: 03/12/2015 - Evaluado: 18/01/2016 - Aceptado: 29/02/2016

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue estudiar una muestra de arena de un yacimiento de Bolivia, con el fin de obtener un pre-concentrado de alta ley de Nb-Ta. Se realizó un análisis granulométrico de una muestra representativa de arena, y se determinó, en cada clase, el contenido de Nb y Ta. Además la muestra fue analizada mineralógicamente. De acuerdo a las propiedades físicas del mineral: paramagnetismo y alto peso específico, se plantearon dos metodologías de concentración. La primera consistió en realizar una separación magnética sobre una muestra clasificada. En la segunda metodología se utilizó la concentración en Golg Pannig y posterior separación magnética de alta intensidad. Finalmente se evaluaron las leyes y recuperaciones de Nb y Ta de las dos metodologías planteadas. Se concluye que la concentración gravitacional seguida de separación magnética es el proceso indicado para pre-concentrar Nb-Ta.

ABSTRACT

The aim of this work was to study a sample of sand from a site of Bolivia, in order to obtain a pre-concentrate high grade Nb-Ta. Particle size analysis was performed and quantified in each class the chemical composition of Nb and Ta. In addition, the sample was analyzed mineralogical. According to the physical properties of the mineral: paramagnetism and high specific gravity, two methodologies proposed concentration. The first was to conduct a magnetic separation on a sorted sample. In the second approach the gravity concentration and subsequent magnetic separation was used. Finally, the grade and recovery of Nb and Ta raised the two methodologies were evaluated. It's concluded that the gravity concentration followed by magnetic separation is the process for Nb-Ta preconcentrate.

Palabras clave: separación magnética, concentración gravitacional, caracterización mineralógica, análisis granulométrico

Keywords: magnetic separation, gravity concentration, mineralogical characterization, particle size analysis

INTRODUCCIÓN

El niobio (Nb) es el principal componente de la columbita $[(Fe,Mn)Nb_2O_6]$ se usa en aleaciones de aceros y en superaleaciones para motores de turbina de avión es la mayor demanda en países industrializados. Es un mineral estratégico en los Estados Unidos debido a sus empleos relacionados con la defensa en el espacio aéreo, la energía, e industrias de transporte

El tantalio (Ta) es el principal componente de la tantalita $[(Fe,Mn)Ta_2O_6]$, es un metal refractario, dúctil, sumamente resistente a la corrosión por ácidos, un buen conductor de calor y electricidad, y tiene un alto punto de fusión, de acuerdo a Shaw *et al.* (2011).

El Nb y el Ta son metales de transición con propiedades físicas y químicas muy similares. Según Brown *et al.* (2015), la producción mundial de concentrados de Nb-Ta asciende a 60.000 toneladas en el año 2014. Los principales productores de concentrados de Niobio son Brasil y Canadá y de Tantalio, la República Democrática del Congo y Ruanda (Papp, 2013).

La importancia estratégica del Ta y el Nb radica en que, gracias a sus extraordinarias propiedades, desde hace un poco más de medio siglo se han convertido en esenciales e imprescindibles para la tecnología moderna. En particular, el tantalio metálico en combinación con óxido de tantalio, por su excelente propiedad de almacenar carga eléctrica temporal y liberarla cuando se necesita, permite diseñar capacitores muy delgados y pequeños; a su vez, se emplea para fabricar la gran mayoría de componentes electrónicos de las nuevas tecnologías: telefonía móvil, informática, consolas de video juegos, iPods, microprocesadores, satélites, GPS, armamento, prótesis e implantes médicos y, sistemas de alerta y monitoreo climático (Villar, 2010).

Debido a las analogías químicas mencionadas el Nb y Ta se encuentran juntos en la naturaleza al estado de niobato-tantalato de hierro y manganeso, $(Fe, Mn)(Nb, Ta)_2O_6$, en un mineral que recibe el nombre de *columbita-tantalita*. Coltán es la forma abreviada de *columbita-tantalita* y es el nombre que se utiliza en el África Central, donde hay grandes reservas de este mineral. Otras fuentes de Ta son las escorias resultantes de la fundición del estaño, que contienen cantidades considerables del elemento (Villar, 2010).

De acuerdo a Perea *et al.* (2011), la fuente primaria de la Tantalita y Columbita son rocas magmáticas llamadas pegmatitas, en las cuales el tantalio se ha enriquecido 10.000 veces con relación a la concentración promedio normal. Si los principales minerales que conforman las pegmatitas –feldespatos, micas y cuarzo– son destruidos por la meteorización (acción del viento, agua y temperatura), los demás minerales, mucho más resistentes a la abrasión y descomposición como los óxidos de hierro, titanio, estaño, tantalio y niobio, pueden alcanzar mayores concentraciones y formar yacimientos de gran tamaño en los lechos de los ríos. Estos minerales, gracias a su mayor densidad, pueden ser extraídos de los afluentes a través del 'barequeo' o cavando fosas, depurando y seleccionando las gravas. En este caso la densidad es vital, pues mientras un mineral normal silicático como el cuarzo posee una densidad de 2,7 g/cm³, uno denso metálico puede pesar entre 3 y 8 g/cm³ como ocurre con las Tantalitas.

La minería de depósitos pegmatíticos, bien sea en canteras a cielo abierto como el caso de Australia, o en depósitos subterráneos como Canadá, se realiza por los métodos convencionales de voladura y trituración, y las menas suelen concentrarse principalmente por gravedad (López *et al.*, 2009).

De acuerdo a Zaman (1985), la concentración de columbo – tantalita, en países como Nigeria y Congo, se realiza por concentración gravitacional utilizando jig y mesa, debido al peso específico del mismo alrededor de 5,2 g/cm³. Luego que la mena es separada y secada se lleva a un separador magnético para separar la columbita por sus propiedades paramagnéticas.

El objetivo del presente trabajo fue realizar un estudio preliminar de beneficio metalúrgico de una muestra de arena, proveniente de un yacimiento de Bolivia, para obtener un preconcentrado de Ta y Nb, con una ley aceptable a nivel comercial. Para llevar a cabo este objetivo la muestra de cabeza y los productos de los ensayos se estudiaron mineralógicamente y se realizaron determinaciones químicas.

De acuerdo a las propiedades particulares de la columbita–tantalita; como peso específico medio de 6,3 g/cm³ y carácter paramagnético, se planificó un diseño experimental que involucraba las propiedades físicas de la muestra, teniendo en cuenta que las colas que perjudican los procesos de concentración de estos metales son los compuestos magnéticos de hierro, como la magnetita, además de compuestos no magnéticos.

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología utilizada en la cuantificación química de Nb y Ta consistió en una fusión con mezclas de carbonato de sodio y de potasio según Proske y Blumnenthal (1953). La determinación química de los elementos se llevó a cabo por ICP – OES, equipo PERKIN ELMER 7300 DV, los patrones utilizados fueron de 2, 5, 10, 20 y 40 mg/L. Las condiciones del plasma fueron: potencia de plasma 1300 watt, 15 L/min Ar, auxiliar 0,2 L/min, nebulizador 0,8 L/min, lectura de plasma axial, con estándar interno de Itrio. Se realizó análisis de interferencia espectral sin resultados relevantes identificados.

La caracterización mineralógica, se realizó con el apoyo de la Lupa Binocular LANCETT 10x/20, y el Microscopio Óptico Leica 2700 PM, se determinaron las características mineralógicas en la muestra de cabeza, y de los productos obtenidos a partir de los distintos procesos aplicados.

Se efectuó el análisis granulométrico en húmedo sobre un kg de muestra, en una tamizadora vibrante marca Sony Test, usando la serie ASTM mallas: 6, 8, 12, 16, 20, 30, 50, 70, 140.

De acuerdo a las propiedades físicas de la columbo – tantalita como: paramagnetismo y alto peso específico, se plantearon dos metodologías de concentración. La primera consistió en realizar una separación magnética sobre una muestra clasificada. En la segunda metodología se utilizó la concentración gravitacional y posterior separación magnética (Zaman, 1985).

En la separación magnética se obtuvieron dos productos: paramagnéticas y no magnéticas, representando esta última la ganga del mineral. Este ensayo se realizó sobre una muestra clasificada en cuatro clases granulométricas: [-6 +20], [-20 +50], [-50 +140] y -140. El equipo empleado fue un separador magnético de alta intensidad en seco con tambor inducido, marca CarpCo. La metodología consistió en pasar tres veces cada clase por el separador, ajustando las condiciones de trabajo para recuperar a la mayor parte de los minerales paramagnéticos. Las condiciones fueron: Intensidad de campo 3 Amp, velocidad del rotor 15 rpm y separación del entrehierro 2-3 mm.

La segunda metodología fue aplicada a una muestra cabeza clasificada en dos clases: [-10 +20 #] y [-20#].

La fracción gruesa se redujo a -20# mediante trituración en molino de discos en circuito cerrado y luego ambas fracciones se trataron en forma conjunta en un equipo gravitacional para la separación de los minerales pesados, el Gold Panning. Con el fin de aumentar la ley de los productos de la concentración gravitacional, éstos fueron tratados posteriormente en un separador magnético de alta intensidad, obteniendo un producto paramagnético y otro no-magnético.

El equipo consiste de un disco con fondo cónico y con un espiral que tiende a llevar a los granos a una descarga central con el giro del disco. Una corriente de agua actúa en sentido contrario y produce el rebalse de las partículas de bajo peso específico. Variables tales como la inclinación del disco, la velocidad, el caudal de agua, permiten regular la separación (ver Figura 1).



Fig. 1: Equipo de separación gravitacional Gold Panning

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización mineralógica de la muestra de cabeza

En el estudio macroscópico de la muestra cabeza, se determinó que aproximadamente el 10% corresponde a minerales metálicos de colores grises y magnéticos. Los cuales pueden atribuirse a la presencia de columbo – tantalita.

Se identificaron los siguientes minerales no-metálicos: cuarzo de variedades cristalinas (hialino y lechoso), feldespatos, biotita, espodumeno, granate y turmalina.

Para confirmar la mineralogía se procedió a confeccionar una sección pulida correspondiente a la muestra de cabeza. Microscópicamente en la muestra cabeza, se identificaron los siguientes minerales metálicos/ submetálicos: magnetita, ilmenita y columbo-tantalita. Dentro de los minerales de alteración, se reconoció ilmenita alterada a hematita y hematita como libre (ver Figura 2).

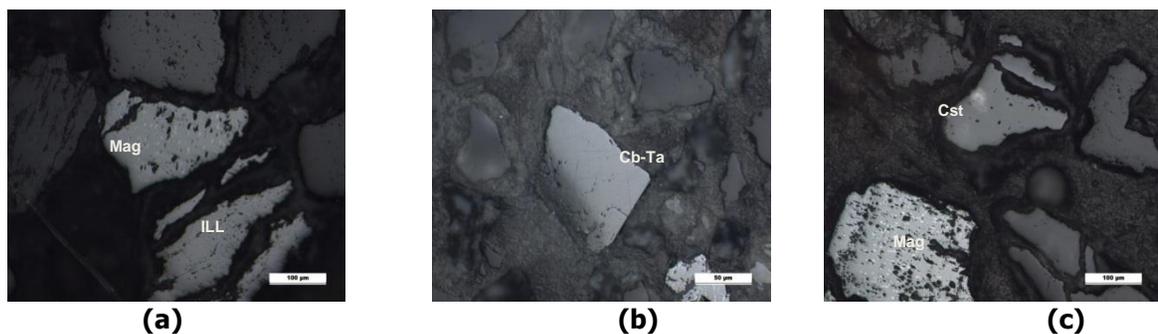


Fig. 2: Fotomicrografías Muestra cabeza clase -50+140#. Objetivo 20X. (Nicoles //) en aire.

a) Se identifica Magnetita (Mag) e Ilmenita (ILL); b) Se identifica Cb.Ta (Columbo–Tantalita); c) Se identifica Magnetita (Mag) y Casiterita (Cst)

Resultados del análisis granulométrico

En la Tabla1 se muestran los resultados del análisis granulométrico de la muestra de cabeza.

En la Tabla 1 se observa que la muestra tiene una distribución en peso que se concentra en la clase -30+140#, donde está el 73% en peso.

Tabla 1: Análisis granulométrico en húmedo de la muestra de cabeza

| Clase | Peso % | %Nb | Fino | %Ta | Fino |
|------------|--------|-------|--------|-------|--------|
| + 6 | 0,2 | 0,043 | 0,0024 | 0,039 | 0,0023 |
| - 6 + 8 | 0,3 | 0,065 | 0,0036 | 0,057 | 0,0017 |
| - 8 + 12 | 1,0 | 0,021 | 0,0020 | 0,190 | 0,0020 |
| - 12 + 16 | 1,9 | 0,410 | 0,0077 | 0,360 | 0,0068 |
| - 16 + 20 | 5,2 | 1,130 | 0,0058 | 1,002 | 0,0520 |
| - 20 + 30 | 8,1 | 1,140 | 0,0920 | 1,119 | 0,0900 |
| - 30 + 50 | 23,4 | 3,310 | 0,7740 | 3,310 | 0,7700 |
| - 50 + 70 | 18,6 | 0,362 | 0,0670 | 0,340 | 0,0630 |
| 70 + 140 | 30,8 | 0,600 | 0,1840 | 0,580 | 0,1780 |
| - 140 | 10,5 | 0,148 | 0,0150 | 0,131 | 0,0130 |
| Ley Cabeza | | | 1,15 | | 1,18 |

De acuerdo a estos resultados se descartó la clase -6 +20 porque representa un bajo porcentaje en peso y se estudió la clase -20 +140.

Resultados de la separación magnética de alta intensidad

La Tabla 2 presenta los resultados de la separación magnética en seco de alta intensidad, planteada como primera metodología de concentración. Se observa la distribución química de los elementos Ta y Nb, en los productos obtenidos.

Tabla 2: Resultados de la distribución de Nb y Ta en los productos de los ensayos de separación magnética de alta intensidad para las distintas clases granulométricas.

| Clase (#) | ID | Peso % del total | Contenido | | Distribución | |
|-----------|------|------------------|-----------|-------|--------------|------|
| | | | Ta % | Nb % | Ta % | Nb % |
| - 6 + 20 | N-T | 3,7 | 1,659 | 1,889 | 5,33 | 6,02 |
| - 20 + 50 | P | 19,0 | 4,044 | 4,157 | 66,75 | 68,0 |
| | N-M | 14,2 | 0,432 | 0,289 | 5,33 | 3,5 |
| - 50 +140 | P | 26,8 | 0,835 | 0,838 | 19,44 | 19,3 |
| | N-M | 25,3 | 0,106 | 0,107 | 2,33 | 2,3 |
| - 140 | P | 7,7 | 0,117 | 0,127 | 0,78 | 0,8 |
| | N- M | 3,3 | 0,014 | 0,021 | 0,04 | 0,04 |

ID: Productos; N-T: No Tratado; P: Paramagnético; N-M: No Magnético.

En la clase [-20 +50#] se determinó una alta concentración de los minerales de Ta y Nb en los productos Paramagnéticos. La Tabla 2 demuestra que la recuperación en esta clase es de un 66,74 % de Ta y de Nb es de 68%. Los resultados del análisis mineralógico por medio de microscopio con luz reflejada indican alto porcentaje de minerales libres de brillo metálico a sub-metálico (ver Figura 2a).

El producto no magnético separado en esta misma clase [-20 +50#] mineralógicamente demuestra alto porcentaje de cuarzo de variedad cristalina, prevaleciendo los granos hialinos, observado macroscópicamente. Se identificaron mica, feldespato, escasos individuos de espodumeno y concreciones ferruginosas. Dentro de la mineralización metálica/submetálica, hay escaso porcentaje de minerales libres de brillo metálico a sub-metálicos, no pudiendo realizar su identificación a simple vista (ver Figura 3a y 3b).

Estas observaciones corroboran que la concentración por medio de separación magnética en esta clase granulométrica, es efectiva.



Fig. 3: a) Fotografía clase -20+50# paramagnética. b) Fotografía clase -20+50# no magnética

En la clase [-50 +140#] de producto paramagnético, se identificaron químicamente bajas concentraciones de Nb y Ta (0,83%; 0,84%). Desde el punto de vista de la separación magnética, se observa una baja diferencia en la distribución de peso obtenida. Mineralógicamente se identificaron individuos de magnetita e ilmenita, en un porcentaje mayor al 10%. Se reconoció rutilo (inferior al 5%) y muy bajo porcentaje de columbita–tantalita. Como minerales de alteración, se hizo presente la limonita. Estos resultados demuestran que la concentración por medio de separación magnética en la clase estudiada, no es efectiva.

Las observaciones mineralógicas demostraron que en la clase [- 50 +140#], producto no magnético, hay escasos individuos de columbita–tantalita, junto con ilmenita, en minerales de ganga. Estos resultados demuestran una posible vinculación mineralógica entre la columbita – tantalita con minerales de ganga (ver Figura 4a - 4b).

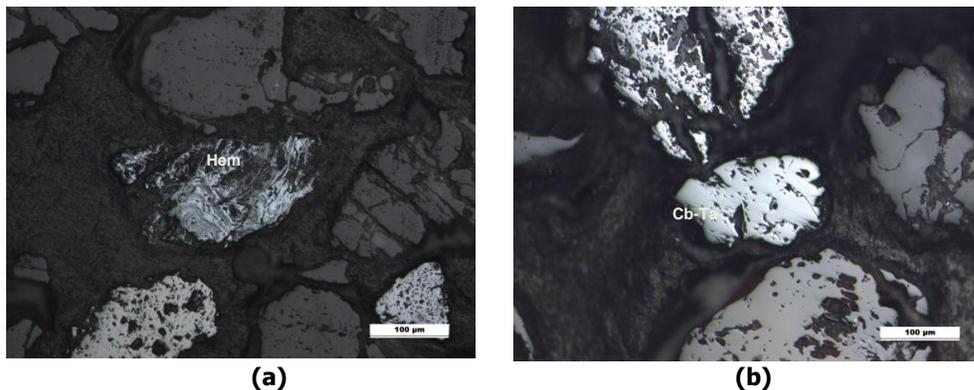


Fig. 4: Fotomicrografía clase -50 +140#. Objetivo 20X. (Nicoles //) en aire Paramagnética
a) Se identifica Hematita (Hem), b) Se identifica Columbo – Tantalita (Cb – Ta)

En los tamaños menores a -140# en el producto paramagnético, se observa que los elementos Ta y Nb se encuentran en concentraciones menores que las encontradas en las otras dos clases anteriores estudiadas. En el producto No Magnético se identifica muy baja concentración (0,014-0,021 %), comparada a las otras clases granulométricas.

Resultados de la separación gravitacional posterior separación magnética

Luego de varias pasadas se separaron 4 productos, Concentrado, Medianía, Colas y Magnetita. Estos primeros 3 productos se trataron posteriormente por separación magnética de alta intensidad en seco. Los resultados de este ensayo se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3: Ensayo de concentración gravitacional en Gold Panning de la muestra a -20#. Separación magnética de los productos de la concentración gravitacional.

| Productos Separación Gravitacional | Peso % | Contenido % | | Distribución % | | |
|------------------------------------|--------|-------------|-------|----------------|----------------|------|
| | | Ta | Nb | Ta | Nb | |
| Concentrado | 4,8 | 4,19 | 4,82 | 26,8 | 24,6 | |
| Medianía | 18,7 | 2,26 | 2,94 | 56,2 | 58,5 | |
| Colas | 76,4 | 0,17 | 0,21 | 17,1 | 17,0 | |
| Productos Separación Magnética | ID | Peso % | Ley % | | Distribución % | |
| | | | Ta | Nb | Ta | Nb |
| Concentrado | M | 3,8 | 6,03 | 5,35 | 26,9 | 22,7 |
| | N-M | 1,0 | 4,11 | 4,35 | 4,8 | 4,9 |
| Medianía | M | 15,0 | 2,31 | 2,39 | 40,7 | 40,1 |
| | N-M | 3,7 | 2,71 | 3,51 | 11,8 | 14,5 |
| Colas | M | 20,7 | 0,38 | 0,49 | 9,2 | 11,3 |
| | N-M | 55,6 | 0,11 | 0,11 | 6,6 | 6,5 |

Se observa que la concentración gravitacional con Gold Panning seguida de separación magnética, permite obtener un pre-concentrado de alta ley de Ta 6% y Nb 5,36%, comparada con la separación magnética sola. Los resultados demuestran que debe mejorar la recuperación y repasar la medianía.

La separación magnética utilizada como proceso secundario es efectiva debida a que la columbo – tantalita se encuentra liberada de los minerales de ganga. Este proceso de pre-concentración favorecerá los procesos siguientes de concentración de Nb y Ta, como lixiviación (Rodríguez & Ruiz, 2003).

CONCLUSIONES

Se trata de una muestra de arena formada por minerales no-metálicos y metálicos. Entre los primeros se identificaron los siguientes: cuarzo de variedades cristalinas (hialino y lechoso), feldespato, biotita, espodumeno, granate y turmalina. Los minerales metálicos y submetálicos son: magnetita, ilmenita y columbo-tantalita. Dentro de los minerales de alteración, se reconoció ilmenita alterada a hematita y hematita libre.

La columbo – tantalita se concentra sobre todo en las clases gruesas; + 20# y +20 – 50 #. En los finos, por Ruizdebajo de 50# y sobre todo en el -70#, baja su contenido a menos de un tercio del de las clases gruesas.

Aplicando la separación magnética sola en la clase +20 – 50#, la recuperación de Ta es de un 66,70 %. Mientras que la recuperación de Nb es de 67,90%.

El equipo gravitacional produce una buena concentración con leyes 5 veces superiores a la cabeza. La medianía debe ser retratada varias veces para mejorar la recuperación. El posterior tratamiento de los concentrados por separación magnética aumenta la ley y también se advierte la necesidad de repasar varias veces los productos intermedios.

REFERENCIAS

1. Brown, T.J., Shaw, R.A., Bide, T. & Petavratzi, E. (2015). World Minerals Production 2009-2013 *British Geological Survey*, ISBN 978-0-85272-848. Bajada diciembre 15, 2015, desde, <http://C:/Documents%20and%20Settings/Cliente/Mis%20documentos/Downloads/WMP20092013.pdf>.
2. Lopez Lopez, G., Lopez Lopez, J. & García Yagües, M. (2009). Tantalum: A Strategic Metal. *DYNA*, 84 (3), 219-224.
3. Papp, J. (2013). Columbium (niobium) and tantalum. *Minerals Yearbook. U.S. Geological Survey*. Bajado noviembre 20, 2015, desde, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/niobium/myb1-2013-niobi.pdf>. Noviembre 2015.
4. Perea, Z.A., Franco, J.A., Pérez, A.B., Poveda, A.P. & Cramer, T. (2011). Caracterización de depósitos aluviales con manifestaciones de tantalio y niobio ("coltán") en las comunidades indígenas de Matraca y Caranacoa, departamento del Guainía. Recuperado, Agosto 20, 2015, de la Universidad Nacional de Colombia, de la Contrato Interadministrativo N° 021. Bogotá. Sitio web: <http://www.docentes.unal.edu.co/thcramer/docs/Ingeominas%20Ta%20Nb%20Informe%20final%20edicion%201.pdf>.
5. Proske, O. & Blumenthal, H. (1953). Análisis de metales. Comisión especial de químicos de la sociedad de metalúrgicos y mineros alemanes. En *Métodos de arbitraje*. (pp 386 – 397). 2ª ed. Madrid: Aguilar S.A.
6. Rodríguez, M. & Ruiz, C. (2003). Estudio del efecto de los iones H^+ , F^- y $C_2O_4^{2-}$ sobre la disolución de columbo –tantalitas. Jornadas SAM/CONAMET/SIMPOSIO MATERIA 2003. (pp 26-29). Argentina.
7. Shaw, R. & Goodenough, K. (2011). Natural Environment Research Council. Niobium-Tantalum. Recuperado, Noviembre 20, 2015, de la British Geological Survey. Sitio web: <http://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2033>.
8. Villar, C. (2010). Tantalio y Niobio: Metales Refractarios Desmitificando el "Coltán". *Revista Metal actual*, 16, ISSN 2011960-7, Colombia. Bajada noviembre 20, 2015. http://www.metalactual.com/revista/16/materiales_coltan.pdf.
9. Zaman, S. (1985). Columbium and Tantalum. In *SME Mineral Processing Handbook*. 27 (2). (pp 3 – 21). New York: N.L.Weiss.