Foto: Cortesía: Unimedios / UNAL.

Tantalio y Niobio: Metales Refractarios

Desmitificando el "Coltán"

Camilo Marín Villar
Periodista Metal Actual

Colombia posee depósitos inexplorados de diversos materiales estratégicos.

El tantalio y el niobio son metales que, gracias a sus excepcionales propiedades, resisten altas temperaturas y ataques de la corrosión. Actualmente, son empleados en la fabricación de componentes electrónicos, aleaciones superresistentes. Por su ductilidad permiten ser alambre, láminas tubos.

En septiembre del año pasado se conoció, a través de medios nacionales e internacionales, que en el municipio de Cedeño, en el Estado Bolívar – Venezuela, fue descubierto un importante yacimiento de "Coltán" que estaba siendo explotado, de manera artesanal, por residentes de la zona. Según el diario El Universal de Caracas, estos mineros habían estado vendiendo el preciado mineral a comerciantes que sacaban la materia prima de territorio venezolano con destino a Colombia, quienes después la exportaban a Brasil y Estados Unidos.

Inmediatamente, el presidente Hugo Chávez ordenó militarizar la zona del Orinoco para proteger ese mineral

estratégico y, según él, evitar que los mineros no regulados siguieran extrayéndolo y vendiéndolo al 'imperio'.

Esta noticia resulta curiosa e impresiona al lector desprevenido; sin embargo, simplemente hace parte de la avalancha de especulación, desinformación y sensacionalismo, que rodea al mal llamado "Coltán", al cuál también califican como: 'oro azul', 'nuevo mana' o 'petróleo de barro'. La verdad sea dicha: "Coltán" no es un mineral, su valor y precio está lejos del oro y no es tan exótico como se pretende mostrar. Su importancia radica en que, es y seguirá siendo, fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales metalúrgicos superresistentes.

Fotos: Cortesía: Unimedios / UNAL.

La principales menas de Tantalio y Niobio son las Columbitas-Tantalitas, cuyos mayores yacimientos se encuentran en Brasil y Australia.

¿Qué es y qué no es Coltán?

Para aclarar el tema, el minerálogo alemán, y profesor de la Universidad Nacional de Colombia, Thomas Cramer, explica que "Coltán" no es ningún mineral, sino un término, alias o abreviatura comercial usada originalmente en África, para nombrar una serie de minerales que, en alta concentración, tienen los elementos tantalio (Ta) y niobio (Nb). Actualmente, han sido identificadas más de 70 mineralizaciones que contienen estos elementos con composiciones químicas y estructuras cristalinas diferentes.

Las mineralizaciones del Ta y Nb, económicamente, más valiosas e importantes son la Tantalita –compuesto de óxido de tantalio, hierro y manganeso [(Fe,Mn)Ta2O6]– y la Columbita –compuesto de óxido de niobio, hierro y manganeso [(Fe,Mn)Nb2O6]–. El niobio, también conocido como columbio, especialmente en EE.UU., tiene otra mineralización muy importante: el pirocloro [$(Na,Ca)_2Nb_2O_6(OH,F)$], el cual se forma principalmente en rocas carbonatitas[1].

Cuanto más niobio contenga el mineral y menos tantalio, se llama Columbita-Tantalita o Ferrocolumbita-Tantalita, y cuanto menos niobio y más tantalio se denomina Tantalita-Columbita; es frecuente que en la naturaleza los elementos que forman los minerales estén combinados y predomine uno sobre otro, como en este caso.

Pues bien, a ambos, Columbita y Tantalita, junto a otros minerales portadores de tantalio y niobio, se les conoce informalmente por la abreviatura "Coltán"; pero, si se quiere hacer precisión y referirse apropiadamente al respecto de estas riquezas, las cuáles posee Venezuela, Brasil y también Colombia, es necesario empezar a hablar particularmente del tantalio y el niobio, elementos base de estas mineralizaciones.

El tantalio y el niobio son metales refractarios; es decir, tienen un elevado punto de fusión y soportan temperaturas excepcionalmente altas, 3.017°C y 2.468°C respectivamente. La resistencia al calor del Ta es dos veces la del hierro y sólo es superada por las del wolframio y el rhenio; en consecuencia, el Ta y Nb tienen el potencial de ser utilizados en aplicaciones resistentes a altas temperaturas. Incluso, el carburo de tantalio (TaC) soporta 3.880°C y tiene, además, una dureza similar al diamante.

Tanto el Ta como el Nb son bien conocidos y no hay misterio a cerca de ellos; presentan un color gris brillante que tiende a tornarse azul cuando están en contacto con el aire; ambos pertenecen al grupo de los metales de transición, tienen alta densidad y peso, buena ductibilidad, son resistentes a la corrosión y, magníficos conductores térmicos y de electricidad. Gracias a sus excepcionales propiedades, son empleados actualmente para la fabricación de componentes de alta tecnología y en aleaciones metalúrgicas superresistentes.

Cramer aclara que, realmente, no son tan raros como se cree: el Ta ocupa el lugar 53 y el Nb el 32 en abundancia natural entre los elementos de la corteza terrestre; es decir, son

'Coltán' es un término comercial empleado en algunos países de África para designar las series de minerales que en alta proporción contienen Tantalio y Niobio.

Fotos: Cortesía: Unimedios / UNAL.

relativamente comunes si se comparan con el oro, por ejemplo, que ocupa el lugar 75. Por cada tonelada de corteza terrestre, es decir, de capa rocosa superficial que tiene la Tierra, hay entre 1 y 2 gramos de Ta, 20 de Nb y solamente 0.004 de oro.

Según el Servicio Geológico de EE.UU (USGS), la producción mundial de Ta, en 2006, totalizó 1.290 toneladas; ese año, los mayores productores fueron Australia con 57 por ciento; Brasil 20 por ciento; China y diferentes países de África 10 por ciento y Canadá 5.4 por ciento.

Por su parte, el Centro de Estudios Internacionales del Tantalio y el Niobio (TIC), con sede en Bélgica, indica que, en 2008, el productor más grande de Ta fue Brasil con 40 por ciento de la producción mundial, seguido de Australia 21 por ciento, China y el sudeste asiático 10 por ciento y Canadá 5 por ciento.

Por otra parte, diversos medios internacionales afirman que la República Democrática del Congo posee el 80 por ciento de las reservas mundiales de Columbita-Tantalita, "Coltán"; sin embargo, según el TIC, la realidad es que los yacimientos del Congo producen no más del 10 por ciento.

Respecto al Nb, los mayores productores son Brasil, Nigeria y Australia, el depósito más grande de pirocloro, principal mineral del que se obtiene el Nb, está en Brasil en la región de Araxá y es propiedad de la Compañía Brasilera de Metalurgia y Minería (CBMM). El informe del TIC indica que las reservas mundiales de Nb, 460 millones de toneladas aproximadamente, son suficientes para abastecer la demanda por los próximos 500 años.

Además, es conveniente explicar que el apelativo de 'oro azul' es impreciso, pues mientras un kilogramo de oro cuesta alrededor de US$30.000, uno de óxido de tantalio, según indica el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Hannover - Alemania, se compra apenas por US$80 y el de Ferro-Niobio oscila entre US$13 y US$20.

Foto: www.flickr.com

Wodgina, mina a cielo abierto de Tantalio, en el desierto del norte de Australia occidental, a cargo de la empresa Sons of Gwalia.

Conviene explicar que el precio de estos minerales depende directamente de que la concentración de óxidos de Ta y Nb en ellos este certificada y probada en un rango suficientemente alto, de por lo menos 20 por ciento. Es decir, la extracción de Columbita-Tantalita no regulada, realizada por mineros de forma artesanal, económicamente, deja poca ganancia.

Solamente los yacimientos probados con un contenido mayor del 20 por ciento de Ta y Nb pueden ser valiosos. Además, la importancia económica depende de si el material se encuentra en grandes proporciones en un mismo lugar y si su extracción y transporte es fácil, o si se encuentra asociado a otros elementos de valor. Por ejemplo, una parte considerable del tantalio a nivel mundial es un producto secundario en siderurgias de estaño que procesan Casiterita con pocos porcentajes de Ta.

En este sentido, la explotación de yacimientos minerales resulta ser una actividad de alto riesgo económico, pues implica una elevada inversión: los posibles depósitos deben ser identificados y evaluados, reconocidos por procedimiento de mapeo geológico, a través de fotografía aérea, observación en el campo, y por medio de estudios geofísicos, químicos y mineralógicos. Hay que utilizar técnicas analíticas como medición de la densidad, metalografía en luz transmitida y reflejada, espectrografía, fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, entre otras, para determinar la calidad del material, en la que no solamente intervienen los elementos químicos, sino también los aspectos mineralógicos como el intercrecimiento con otros minerales, todo factores decisivos para establecer los procesos adecuados de beneficio. Así mismo, es necesario buscar las mejores vías para llevar el material a las plantas de beneficio o puertos de exportación, evaluar el impacto ambiental y las condiciones de la zona, entre muchos otros factores. Por lo cual, sin estos estudios, aún no es posible calificar en ningún sentido los depósitos del Orinoco venezolano o los que probablemente se encuentran en la zona fronteriza de sur oriente colombiano.

¿Por qué son Materiales Estratégicos?

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.

En algunas de estas aplicaciones otros materiales podrían reemplazar al Ta; sin embargo, con éste se ha conseguido una mayor eficiencia y miniaturización de las tecnologías actuales, al punto de obtener componentes nanotecnológicos. De hecho, gracias al Ta los actuales teléfonos celulares pesan 100 gramos aproximadamente, de lo contrario pesarían entre 1 y 2 kilogramos, es decir casi 10 o 20 veces más.

Además, al ser ultrarefractario y tener alta resistencia a la corrosión y a la alteración en general, es utilizado para aleaciones empleadas en turbinas de aeronaves y reactores nucleares y, por su superconductividad, en trenes magnéticos.

También se fabrican con él, matrices para extrusión, moldes para fundición, punzones para perforar, tazas y recipientes refractarios, equipo para electroplateado y herramientas de corte, como carburo de tantalio de altísima dureza.

El Ferro-Tantalio tiene gran importancia en la metalurgia, pues se agrega a los aceros austeníticos para mejorar propiedades anticorrosivas y, a su vez, mantener la ductilidad. En este caso, las propiedades mecánicas del Ta pueden ser mejoradas al ser aleado con algunos elementos similares (el tantalio principalmente se alea con Ti, Zr, Hf, Mo, Nb y W).

Fotos: www.siemens.com

Tanto el Tantalio como el Niobio son empleados para fabricar componentes de nuevas tecnologías: procesadores y condensadores electrónicos, intercambiadores de calor y aleaciones superresistentes a la abrasión, corrosión y temperatura.

Central de Soldaduras & Protección Industrial S.A

ISO 9001: 2000 BUREAU VERITAS Certification

Importadores mayoristas de soldaduras, máquinas para soldar, equipos de oxicorte, accesorios para soldar, cables soldador y elementos de seguridad personal

y algo más...

Distribuidores exclusivos para Colombia de:

NORTH · SCOTT HEALTH & SAFETY · MCR SAFETY CONSUMER PRODUCTS · West Arco · bambozzi · CONARCO

MARCAS PROPIAS: BLACK PANTHER

BARRANQUILLA
Calle 42 No. 46 12
PBX 3791515 FAX 3791688
Preventa.baq@centraldesoldaduras.com

BOGOTA
Carrera65 No. 8 53
PBX 4205277 FAX 2602991
Preventabog01@centraldesoldaduras.com

DISPONIBILIDAD DE DESPACHOS A TODA **COLOMBIA**

MEDELLIN
Calle 29 No. 52 26 Bodega 106
PBX 2659608 2359410 FAX 3160128
Preventa.med@centraldesoldaduras.com

CARTAGENA
Transversal 54 No. 22-89
PBX 6621322 FAX 6690998
Preventa.ctgna@centraldesoldaduras.com

Una aleación con 2.5 por ciento de W tiene los siguientes parámetros mecánicos: tensión de ruptura S= 45-55 psi, límite elástico Y= 35-45 psi, elongación 30 por ciento, módulo elástico 27 x 10^6 psi, dureza 50-80 HRB. El alto punto de fusión es una ventaja (3.017ºC para tantalio puro, 3.030ºC para aleación con 2.5 por ciento W).

Por su parte, el niobio tiene menos aplicaciones electrónicas que el Ta y su mayor uso es en forma de Ferro-Niobio como aleante para aceros, y como carburo de niobio en aceros para herramientas de mecanizado de alta velocidad (MAV).

Según el Instituto Argentino de Siderurgia, organismo que realizó una extensa investigación del Nb, el crecimiento en el consumo de este material, en los últimos 30 años, es consecuencia de la alta demanda de aleaciones de acero de alta resistencia mecánica, aceros de baja aleación y aceros inoxidables en los que el Nb es utilizado para el control del tamaño del grano, pues mejora las propiedades mecánicas y la relación resistencia-peso del acero. Tales aceros son utilizados para aumentar la durabilidad de puentes, torres, columnas, estructuras elevadas y tuberías de hidrocarburos.

El Nb se emplea también, aleado con tungsteno, titanio y molibdeno para resistir elevadas temperaturas en reactores nucleares y válvulas electrónicas.

En los aceros para construcción semicalmados, bajos en carbono, el Nb sirve para elevar el límite elástico y la resistencia a la tracción; por ello, su empleo se extiende cada día más como reemplazo de aceros de baja aleación. El Instituto también indica que el Nb disminuye la templabilidad, por lo que se añade a aceros previamente templados para evitar grietas en procesos como soldadura. En aceros al carbono incrementa la dureza y la fuerza coersiva, por ello se utiliza en las aleaciones para imanes permanentes.

El vanadio, manganeso y molibdeno pueden sustituir al Nb como agente aleante en aceros de alta resistencia. Igualmente, el tantalio puede reemplazarlo en aceros inoxidables y de alta resistencia mecánica, pero se requieren dos veces más de Ta para obtener el mismo efecto, por esta razón la industria del acero prefiere el Nb, más económico obtenido a partir del mineral pirocloro.

Fotos: Cortesía: Unimedios / UNAL.

Para determinar la calidad y proporción de Ta y Nb en las mineralizaciones se requieren diferentes pruebas de espectrografía, metalografía y fluorescencia de rayos X, entre otras.

Dado lo anterior, por su aplicación y servicio final, la industria de la construcción constituye el mayor consumidor de Ferro-Niobio mundialmente; incluso, por años, ha sido usado para aumentar la resistencia mecánica de las barras para hormigón.

El ente argentino proyecta que el consumo de Nb tendrá un continúo crecimiento en el siguiente lustro en las industrias del petróleo, gas y transporte. También se espera un fuerte incremento en la demanda de óxido de Nb y Ferro-Niobio, para aplicaciones nucleares y aeroespaciales.

¿Cómo se Extraen y Procesan?

Al respecto de la extracción y el procesamiento del Ta y el Nb, el minerálogo Thomas Cramer, explica que la mayor parte de metales en la corteza terrestre están tan diluidos que no es económicamente factible su separación. Ocasionalmente, se encuentran grandes cantidades de elementos y compuestos metálicos concentrados por procesos geológicos en un área pequeña; si después de identificado el sitio, y cuantificado el material, se concluye que la extracción es económicamente rentable, entonces, a estos depósitos de minerales, de interés económico, se les llama 'mena' y el lugar donde se encuentran acumulados es denominado un yacimiento.

Propiedades de Algunos Metales Refractarios

Metal	Temperatura de Fusión (ºC)	Densidad (g/cm³)	T = 1.000 ºC		
			Resistencia a la Tensión (psi)	Resistencia de Cedencia (psi)	Temperatura de Transición (ºC)*
Niobio (Nb)	2.468	8,57	17.000	8.000	- 140
Molibdeno (Mb)	2.610	10,22	50.000	30.000	30
Tantalio (Ta)	3.017	16,6	27.000	24.000	- 270
Volframio (W)	3.410	19,25	66.000	15.000	300

* Temperatura en la cual el material cambia su capacidad de deformación (dúctil a frágil)

Fuente: Donald T Askeland, Pradeep P Phulé. Ciencia e ingeniería de los Materiales, 4ª ed. Año 1984.

Generalmente, 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 pesa 2.7 gramos por cm^3, uno denso metálico puede pesar entre 3 y 8 g/cm^3 como ocurre con las Tantalitas.

Básicamente hay dos formas de extracción: la excavación de minas a cielo abierto o la subterranea; aunque, solamente hay una mina de este último tipo, ubicada en Canadá, y la extracción de los depósitos aluviales, la cual es predominante.

Lo que hacen las seis plantas procesadoras que hay en el mundo, ubicadas en Alemania, China, Japón, Tailandia, Kazajstán, y en los Estados Unidos, es triturar los concentrados que reciben de las minas y determinar los métodos más adecuados para el procesamiento, según el tipo de mineralización enriquecida de Ta y Nb. Posteriormente, para el beneficio y separación del metal se someten a diversos procesos en la planta; en este caso, la fundición no es una posibilidad para separar y purificar los metales refractarios, por ello tienen que ser tratados con una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido sulfúrico concentrado con el fin de disolver el óxido de tantalio u otros compuestos en el mineral.

Para la producción de Nb, las empresas que procesan el pirocloro reducen el óxido de Nb con aluminio y óxido de hierro hasta obtener Ferro-Niobio –reducción aluminotérmica– también, es posible realizar el beneficio en un horno de arco eléctrico.

¿Cómo es la Manufactura Metalmecánica?

Después de lograr la separación de ambos metales, el Ta y el Nb y sus aleaciones pueden ser laminados, estirados y extruídos, se pueden fabricar todo tipo de formas: lingotes, varillas, alambre, polvo metálico, barras, ángulos, tubos y chapas. Por la tendencia de estos metales a adherirse a la paredes de los moldes y herramientas, es recomendable usar lubricación abundante y apropiada para mecanizar materiales refractarios.

En uno de sus boletines técnicos, la empresa chilena Fastpack Piping Products, proveedora de aceros inoxidables y al carbono, explica que tanto el Ta como el Nb son fáciles de mecanizar, son blandos, dúctiles y maleables; y son susceptibles de ser trabajados con la mayoría de los trabajos metalmecánicos. Procesos que se describen brevemente a continuación.

- *Mecanizado*: El Ta puede ser mecanizado con herramientas de acero rápido y de carburo usando un refrigerante adecuado. Las operaciones de formado, plegado, estampado y estirado son normalmente realizadas en frío, aunque, cuando se trata de grandes espesores puede trabajarse en caliente a 426° C; dado que, el tantalio recocido se pega en las herramientas, es corriente su tendencia a agriparse, desgarrarse y erosionarse con facilidad, de ahí la necesidad de una buena lubricación.

  Para el perforar el Ta o el Nb recocidos, se usan matrices de acero dejando una luz de 6 por ciento del grosor del material (rango 0.004”- 0.060”) entre ambas partes de la perforadora. Para el estampado se usan matrices de acero y a veces bronce-aluminio o cobre-berilio.

- *Torneado*: En el torneado se recomienda el uso de herramientas de carburo cementado, debidamente afiladas –preparadas en forma similar al torneado de cobre– con altas velocidades de corte –mínimo 100 sfpm– para evitar desgarramientos del material. Es de gran importancia aplicar abundante lubricación; incluso, cuando se use la lima o lija, y para las perforaciones mediante brocas.

- *Esmerilado*: Pulir el tantalio y el niobio no es conveniente y debe evitarse, especialmente si es recocido, material que es casi imposible de esmerilar, dada su tendencia a ’pegarse’ en la piedra.

- *Soldadura*: Tanto el Ta como el Nb, pueden ser soldados a otros metales usando diversas técnicas –por resistencia, TIG, plasma y haz electrónico– pero deben ser protegidos con gas inerte como Argón o Helio, para evitar que los metales absorban gases sobre los 300°C, que los tornan quebradizos. De ser posible es conveniente emplear una cámara con atmósfera de Argón, también se pueden soldar a si mismos con TIG o autógena y nunca debe usarse soplete de acetileno, pues destruye los materiales.

¿Colombia Posee Riquezas de Ta y Nb?

Frente al tema de si hay o no yacimientos ricos en Ta y Nb en Colombia, es importante decir que aún no existen reservas científicamente identificadas, cuantificadas y probadas; por lo cual, el país no aparece como poseedor de estas riquezas en los mapas internacionales de recursos minerales.

Se especula que Colombia, específicamente en los departamentos de Vichada y Guainía, puede poseer el 5 por ciento de las reservas mundiales, pero esto es una simple sospecha. Los medios nacionales, como la revista Semana, mencionan que hay varias empresas interesadas en explotar estos minerales y han solicitado a Ingeominas permiso para extraerlos en el sur oriente colombiano.

Precisamente, por el vacío científico que hay sobre la existencia de Ta y Nb en el país, el Grupo de Estudios en Geología Económica, de la Universidad Nacional de Colombia, liderado por el profesor Thomas Cramer, decidió emprender una exploración geológica para recopilar muestras y fundar las bases de una investigación y publicación sobre el tema.

Metal Actual habló con los protagonistas de la investigación, los estudiantes de geología, Zeze Amaya, José Alejandro Franco y Amed Bonilla, quienes viajaron a la Guainía y durante ocho días compartieron con los habitantes de los resguardos indígenas de Matraca y Caranacoa; comunidades que desde hace más de tres años ‘barequean’ y sacan del río algunas piedras gris brillante y las venden a comerciantes de la zona.

El grupo de investigación, con indicaciones de la comunidad, logró encontrar algunos depósitos de arenas negras y probables zonas ricas en Tantalitas-Columbitas, de las que extrajeron muestras. Una vez estudiados los fragmentos de las rocas, varias muestras presentaron altos contenidos de tantalio (hasta 57 por ciento sin contar el oxigeno) y niobio (19 por ciento), mezclados con otros metales como titanio (7 por ciento) y hierro (15 por ciento).

El profesor Cramer explica que menas con contenidos de Ta y Nb podrían encontrarse teóricamente en diversas áreas del oriente colombiano, ya que la formación geológica de la zona corresponde a una de las más antiguas de la Tierra, como parte del denominado Escudo de Guayana[2] que se extiende por Venezuela, Brasil y la parte oriental de Colombia. Así mismo, regiones como la Amazonía, Vichada y Guainía comparten geología similar a la Amazonía brasilera, y siendo Brasil el mayor productor de tantalio actualmente, es probable que Colombia posea riquezas de estos metales.

Fotografía: Zeze Amaya Perea

Familia integrante de la comunidad de Mapiripana - Guainía. Región sur oriental de Colombia en la que se extrae artesanalmente el “Coltán”.

Cramer asegura que Colombia no sólo cuenta con depósitos de Ta y Nb inexplorados, sino también de otros metales estratégicos, ya que en la exploración de la Guainía, se encontraron minerales como Ilmenita (Titanio), Wolframita (tungsteno), Casiterita (estaño) y Buxita (aluminio).

En todo caso, es importante que Colombia invierta en investigación de largo plazo ya que el presente y el futuro de la industria y la tecnología dependen de estos minerales. Es urgente que las autoridades nacionales intensifiquen y estimulen investigaciones sobre los recursos minerales del país; a su vez, es necesario aplicar el marco legal actual y evitar que el descubrimiento de nuevos yacimientos estimule una oleada de aventureros que, sin medidas adecuadas y profesionales, destruya y arrase todo a su paso.

Citas

1) Las carbonatitas son yacimientos producidos por procesos químicos de concentración de carbonatos a temperaturas de 700 a 500 grados centígrados a altas presiones. Estas rocas se relacionan con las kimberlitas, conociéndose algunos centenares de ellas en diversos lugares del mundo.
2) Región geográfica ubicada al noreste de América del Sur; se trata de una de las zonas más antiguas de la Tierra, y que se extiende por Venezuela (la Guayana Venezolana), Brasil, Guyana, Surinam, Guayana francesa y una pequeña parte de Colombia.

Fuentes

- **Dr. rer. nat. Thomas Heinrich Cramer**. Profesor Dedicación Exclusiva. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. thcramer@unal.edu.co
- MATICES. Nº 16. Publicación de Unimedios / Universidad Nacional de Colombia. matices@unal.edu.co
- Fastpack Piping Products. Especialistas en aceros inoxidables y aceros al carbono. proyectos@fastpack.cl – www.fastpack.cl
- Instituto Argentino de Siderurgia. Niobio, un Análisis de la Situación del Mercado Nacional e Internacional. http://www.siderurgia.org.ar/
- DONALD. R Askeland. PRADEEP. P Phulé. Ciencia e ingeniería de los materiales, 4a ed. Editorial International Thomson Editores S.A. México. 2004.
- F. Skaupy. Cerámica de los Materiales. Versión española traducida por Juan Bautista Vercad, profesor adjunto de química inorgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona. Editorial Reverte S.A.
- KALPAKJIAN. Y SCHMID. Manufactura Ingeniería y Tecnología. Cuarta Edición. Editorial. Prestice Hall.
- Centro de Estudios Internacionales del Tantalio y el Niobio (TIC). http://tanb.org/
- Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Hannover – Alemania. http://www.bgr.bund.de/
- Servicio Geológico de EE.UU (USGS). www.usgs.gov
- Sociedad Internacional de Geólogos Económicos. http://www.segweb.org.