

**CARACTERIZACIÓN DE COLTAN OBTENIDO EN YACIMIENTO EN LA
ORINOQUÍA.**

OLGA LUCIA SÁNCHEZ SANTANDER

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
GRUPO DE BAJAS TEMPERATURAS
POPAYÁN
2011**

**CARACTERIZACIÓN DE COLTAN OBTENIDO EN YACIMIENTO EN LA
ORINOQUÍA.**

OLGA LUCIA SÁNCHEZ SANTANDER

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera
Física en la modalidad de trabajo de investigación.

**Director
DR. GILBERTO BOLAÑOS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS EXÁCTAS, NATURALES Y DE LA EDUCACIÓN
INGENIERÍA FÍSICA
GRUPO DE BAJAS TEMPERATURAS
POPAYÁN
2011**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, gracias a Dios que ha sido el motor de mi vida, a mis padres y familia por creer en mí, a Álvaro Iván, el amor de mi vida por su apoyo incondicional, a mis amigos, con quienes Reims, lloramos y sufrimos, gracias.

Al profesor Gilberto Bolaños, por su buena energía y confianza en este trabajo.

A la profesora Claudia Fernanda Villaquirán, que mas que docente es mi amiga y un gran apoyo para la culminación de este proyecto.

Al profesor Cesar Quinayás por su disposición y colaboración.

A la Universidad del Cauca, lugar de crecimiento académico y profesional. También, al departamento de física y a todos sus profesores quienes ofrecieron una perspectiva diferente sobre la física.

Al doctor Dagoberto Oyola, profesor de la Universidad del Tolima, a la doctora Carmen Cabello, profesora del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas CINDECA, Argentina, por facilitar la caracterización de las muestras de coltan, parte primordial en la culminación de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
Introducción.....	10
1. Marco teórico.....	13
1.1 Qué es el coltan?.....	15
1.1.1 El Coltan en el contexto mundial y nacional.....	17
1.1.2 Usos del coltan.....	19
1.2 Caracterización del mineral en estudio.....	21
1.3 Difracción de Rayos X (DRX).....	21
1.4 Microscopio Electrónico de Barrido SEM (Scanning Electron Microscope).....	23
1.5 Espectroscopia Mössbauer.....	28
2 Metodología.....	33
2.1 Obtención de la materia prima.....	34
2.2 Caracterización de las muestras.....	35
2.2.1 Difracción de rayos X.....	35
2.2.2 Microscopía electrónica de barrido MEB.....	37

2.2.3	Espectroscopia Mossbauer.....	37
3	Resultados.....	39
3.1	Caracterización por difracción de rayos X	41
3.2	Caracterización por microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS).	41
3.3	Caracterización por Espectroscopia Mössbauer	47
	Conclusiones.....	51
	Presentación en eventos.....	53
	Referencias.....	54

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1. Estadística del PIB Colombiano. Sector minero.....	19
Figura 1.2. Estadística de exportación minera en Colombia.....	20
Figura 1.3. Deducción de la ley de Bragg.....	23
Figura 1.4. Ilustración esquemática de la emisión de electrones, rayos X y de fonones por la interacción de un haz incidente de electrones con la muestra.....	24
Figura 1.5. Diagrama del principio de la formación de imágenes en el SEM. La imagen en la pantalla del TRC es un mapa de las intensidades relativas de la emisión de electrones en la superficie de la muestra.....	25
Figura 1.6. Representación esquemática del proceso de absorción y emisión resonantes de Rayos gamma.....	29
Figura 2.1. Difractómetro panAnalytical Expert Pro.....	31
Figura 2.2. Microscopio electrónico de barrido (SEM-EDX) marca Philips SEM 505.....	32
Figura 2.3. Sistema de Espectroscopia Mössbauer.....	33
Figura 3.1. Espectro de la muestra de coltan M1 mediante Microscopio Electrónico de Barrido.....	40

Figura 3.2. Espectro de SEM-.EDS de la muestra M2 de coltan.....	41
Figura 3.3. Espectro de SEM-EDS de la muestra de coltan M3.....	41
Figura 3.4 Espectro de SEM-EDS de .la muestra de coltan M4.....	42
Figura 3.5 Microscopia electrónica de barrido para la muestra de coltan M1	43
Figura 3.6. Microscopia electrónica de barrido para una muestra de coltan	43
Figura 3.7. Espectro de Difracción de Rayos X de la muestra de coltan M3	44
Figura 3.8. Espectro de Difracción de Rayos X de la muestra de coltan M2	45
Figura 3.9. Espectro Mössbauer de Fe- α a temperatura ambiente.....	46
Figura 3.10. Espectro de Mössbauer para la muestra de coltan M1.....	46
Figura 3.11. Espectro Mössbauer para la muestra de coltan M3.....	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Tabla periódica de los elementos activos de Mössbauer....	30
Tabla 3.1. Porcentaje de la muestras de coltan	40
Tabla 3.2. Parámetros Mössbauer de la muestra de coltan M1.....	47
Tabla 3.3. Parámetros Mössbauer de la muestra de coltan M3.....	50

RESUMEN

La industria minera ha respaldado revoluciones industriales, avances tecnológicos y desarrollo económico y contribuye a la medida de la riqueza de un país. En Colombia se cuenta con un mineral estratégico muy utilizado en la industria por sus propiedades intrínsecas, siendo sus reservas muy codiciadas por los países industrializados. Estos grandes yacimientos se encuentran en la región de la Orinoquía Colombiana, sin embargo, en Ingeominas “instituto colombiano de geología y minería que promueve la exploración y explotación de los recursos mineros de la nación”, no se cuenta con la información disponible que determine las zonas productoras de este mineral llamado Coltan o Coltán.

El coltan de una de las minas ubicadas en la región de la Orinoquia fue caracterizado con el fin de conocer los elementos constituyentes de los minerales extraídos de esta, específicamente los porcentajes de tantalio y niobio, elementos constituyentes del coltán. Mediante técnicas no destructivas de análisis como lo son la microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopia de energía dispersiva (EDS) y difracción de rayos X (DRX) se obtuvieron resultados que muestran que el mineral analizado contiene un alto porcentaje de hierro; mediante el análisis por espectroscopia Mössbauer se encontraron dos fases magnéticas en una de las muestras analizadas: la magnetita y la hematita y una fase paramagnética asociada con la ilmenita.

INTRODUCCIÓN

Un mineral es estratégico para un país cuando su exportación supone un gran ingreso. Los expertos hablan de 28 minerales considerados como “imprescindibles para el funcionamiento de la economía mundial”. Aparecen en primer término el cobre, plomo, zinc, estaño, platino y uranio, siguiéndoles rápidamente en la escala de preferencias la plata, las calizas y las tierras raras [1,2]. Minerales como el Coltan, niobio, berilio y molibdeno han ingresado en esta lista debido a su uso imprescindible en el desarrollo de dispositivos utilizados en la tecnología actual. Aunque ha salido a la luz el problema socioeconómico, medioambiental y político relacionado con la explotación y comercialización del coltan, la crisis ligada a su extracción todavía continúa.

En el mundo existen grandes yacimientos de Coltan especialmente en La República Democrática del Congo, donde se encuentra el 60% de dicho mineral [3], otros países productores de este mineral son Australia, Brasil, China [4] y últimamente se ha reportado su explotación en Venezuela, Bolivia y Colombia [5].

Cabe tener como referencia los conflictos que este mineral ha generado en diferentes partes del mundo específicamente en la República del Congo. Para conseguir extraer el coltan, se deforestan grandes áreas de los parques naturales del Congo, poniendo en peligro diferentes especies animales entre las que se encuentran los gorilas y elefantes; es el caso del parque Nacional Kakuzi Biega, donde se extrae el mineral, donde han acabado con la vida de cientos de gorilas, perdiéndose grandes poblaciones de estos simios que están en vía de extinción [6].

Algunas fuentes estiman que Ruanda consigue unos 250 millones de dólares anuales por la venta de coltán (que no existe en su territorio), lo que equivale a cuatro veces su presupuesto anual de defensa. Los ejércitos de Uganda y Burundi también están implicados en el “negocio” del coltan. Al parecer son, en realidad, tres grandes redes político-económicas las que se disputan la economía política de la guerra de la República Democrática del Congo, la primera, la red de intereses políticos, militares y comerciales del gobierno congoleño y del de Zimbabwe, la segunda controlada por el gobierno de Ruanda y una tercera red protegida por Uganda. Treinta y cuatro empresas (de ellas, 27 son occidentales, la mayoría belgas, holandesas y alemanas) participan en el negocio del coltan [7]. Es importante por tanto, señalar que la economía política de la guerra parece destinada no solo al enriquecimiento de los señores de la guerra, sino también a proporcionar materias primas (si es posible a bajo coste) a los países del norte. Todo ello hace que se acelere el proceso de empobrecimiento de las poblaciones africanas, además de la destrucción de su capital humano, de los recursos naturales y del medio ambiente.

Colombia cuenta con un considerable número de yacimientos que contienen coltan especialmente en el departamento del Guainía, sin embargo, no se cuenta con la información suficiente sobre las zonas productoras de este mineral, el alcance de las reservas, la manera de extracción segura y el pago por regalías e impuestos. El estudio del coltan tiene un impacto social en el país a largo plazo, puesto que si se logra estandarizar la exportación de dicho mineral se generaría empleo en las diferentes zonas del país donde se encuentran los yacimientos.

Es aquí donde se genera la necesidad de estudiar los elementos constituyentes del coltan encontrado en zonas del territorio Colombiano, sus propiedades estructurales y magnéticas ayudando a ampliar la información que hay sobre este mineral y así ejercer

control sobre precios, yacimientos, métodos de extracción y mejoras en términos de exportación nacional.

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los minerales hoy en día usados en el mundo entero, han posibilitado el diseño e implementación de nuevos dispositivos haciéndolos cada vez más eficientes y de menor tamaño; un ejemplo del uso del mineral está en la materia prima de la fabricación de condensadores y chips indispensables para los teléfonos celulares, computadores, iPods, mp3, GPS, juegos de consola, en medicina (implantes), entre otros.

El presente trabajo está enfocado en la caracterización de varias muestras extraídas de diferentes partes de una mina ubicada en el Orinoquia colombiana, donde normalmente se extrae coltan. A estas muestras no se les realizó ningún proceso químico, el mineral extraído fue analizado en su estado natural, los datos obtenidos de la caracterización realizada puede ser de gran utilidad para la comunidad científica nacional y podrían incorporarse a las bases de datos nacionales de los minerales que el país posee, constituyendo una herramienta útil para fomentar el desarrollo de tecnología en el país.

El documento está distribuido de la siguiente manera: el primer capítulo presenta una breve descripción de la constitución del coltan y de sus yacimientos a nivel mundial, sin dejar a un lado el conflicto que la explotación de este mineral ha causado en la población y el uso del coltan en la nueva tecnología, adicionalmente, son presentados los métodos de caracterización utilizados en este trabajo. En el capítulo 2 se discute la metodología seguida en la caracterización de los polvos. En el capítulo 3 se presenta los resultados de la caracterización de los polvos. Mas adelante son presentadas las conclusiones y finalmente las referencias.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace una descripción general de la importancia del coltan a nivel mundial y local, su uso y las diferentes técnicas usadas para su caracterización.

1.1 ¿Qué es el coltan?

La palabra coltan, es un término que no se utiliza en el lenguaje científico, y corresponde a la abreviatura de columbita-tantalita, elementos que se encuentran en mayor porcentaje en este mineral; columbita es el nombre dado antiguamente al elemento niobio. Su estructura cristalina es ortorrómbica, con grupo espacia $2/m2/m2/m$ [8]. Este mineral es conocido en el mundo como el “oro azul”, “el petróleo del barro” o “el nuevo maná”. El coltan tiene un gran contenido de minerales, entre ellos: hierro (Fe), manganeso (Mn), niobio (Nb) y tantalio (Ta), lo que ha despertado gran codicia de parte de las grandes empresas multinacionales que lo utilizan para la fabricación de nuevos dispositivos electrónicos. El Coltan forma una serie de soluciones sólidas con composición general $[(Fe,Mn)(Nb,Ta)_2O_6]$ [8]. Sin embargo, existen muchas variedades de coltan con porcentajes muy variados de los elementos constituyentes, es así como en algunos tipos de coltan el hierro o el manganeso son los elementos que se encuentran en mayor porcentaje.

1.1.1 El Coltan en el contexto mundial y nacional

El 60% de las reservas de este mineral están en el Congo (África) [9], el resto se encuentran repartidas en Australia, Brasil, China [10] y, se presume la existencia del coltan en Venezuela, Bolivia y Colombia [11].

Los yacimientos más importantes de origen primario están asociados a granitos alcalinos y rocas como pegmatitas con gran contenido de cuarzo, feldespatos, micas,

turmalina, casiterita, berilio, espodumena y wolframita. Sin embargo, se destacan también los depósitos aluviales originados por la erosión.

Elementos como el uranio, el torio y el radio, entre otros, pueden aparecer formando fases minerales, asociadas al coltan, o estar presentes en la estructura cristalina de la columbita y tantalita. En el 2007, un estudio realizado por el Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad de Nairobi y por científicos del departamento de física han evidenciado dosis de radiación en los trabajadores congoleños que se dedican de forma artesanal a la extracción de coltan [12].

La extracción de Coltan ha provocado un largo conflicto bélico interno en el Congo y desde 1997 ha causado más de 4 millones de muertes, la mayoría de las víctimas pertenecen a la población civil [13].

El control por las minas, de este escaso mineral, ha originado que este conflicto aun perdure y genere el enriquecimiento de los milicianos congoleños que controlan la cadena local de producción y comercialización de dicho mineral, siendo este el negocio más lucrativo, originando millones de ganancias a los comerciantes ilegales del mineral. Las Naciones Unidas, publicaron un reporte sobre los grupos militares que controlan la explotación, transporte y mercantilización del coltan. Sin embargo, este reporte no muestra con exactitud la mecánica financiera usada para pagar las operaciones logísticas [14]. El gobierno de la República Democrática del Congo y los países vecinos como Ruanda, que aprovecha la explotación ilegal de coltan, poseen regulaciones y leyes muy pobres en cuanto al lavado del dinero. En el 2002, el Fondo Monetario Internacional anunció un programa de asistencia técnica para el Congo, el cual incluye reformas en el sector bancario. Independientemente de dichas reformas, el control sobre las minas de coltan por medio de la seguridad extranjera y las fuerzas rebeldes, demuestran que el Congo no será capaz, por ella misma, de amilanar la explotación ilegal de coltan. Los aspectos básicos de su comercio involucra: fuerzas militares, de autofinanciación a través de los recursos que implica su venta a través de los mineros

locales con salarios bajos, la venta a los intermediarios en la frontera del país para así venderlo a los países más desarrollados, mediante el pago de fondos de los bancos aledaños.

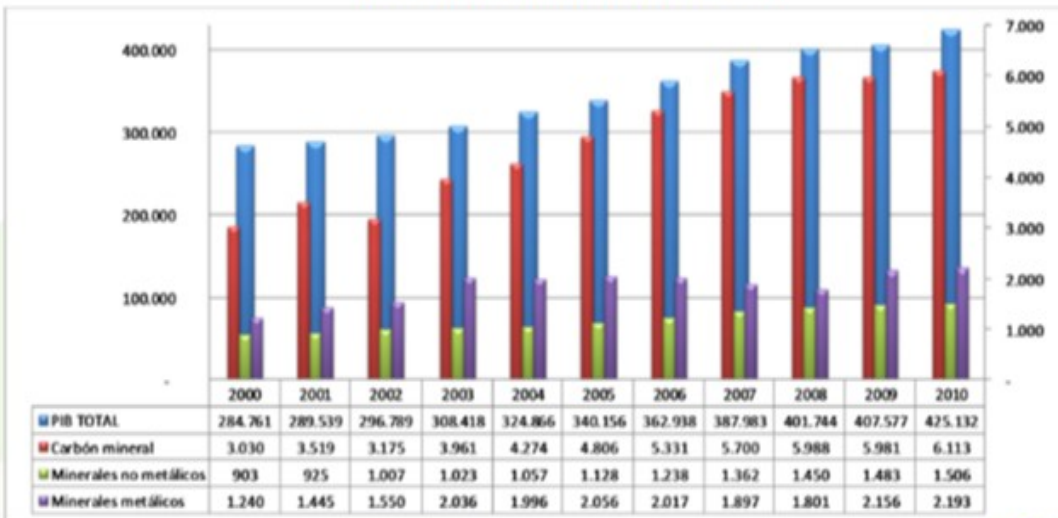
Entrando en el contexto nacional, el coltan se dio a conocer en nuestro país cuando el presidente de Venezuela, Hugo Chávez, anunció el descubrimiento de un gigantesco yacimiento cerca de la frontera con Colombia. La realidad es que este mineral está siendo extraído ilegalmente en varias regiones del oriente de Colombia y se presume que también se está explotando en el sur occidente del país siendo comprado por empresas multinacionales. Se cuenta con información, por parte de revistas reconocidas en Colombia, que aproximadamente hace tres años, comerciantes llegaron hasta zonas de Vichada y Guainía para promover la explotación de Coltan en regiones cercanas al Orinoco y sus afluentes [11].

Como la minería del coltan no está reglamentada en el país, los comerciantes se ampararon en registros falsos y en que parte de los yacimientos están en resguardos indígenas para comprar y vender el producto. Mediante el barequeo en ríos y laderas recogen el mineral, que después es transportado a Bogotá, donde una tonelada puede costar entre 40.000 y 60.000 dólares [15]. Mensualmente se podría estar exportando entre 10 y 25 toneladas de coltan, pero con un proceso de legalización y tecnificación podrían superar las 300 toneladas mensuales, afirma uno de los fundadores de Coltan Sas, la única empresa legal creada en Colombia para comercializar este mineral [15].

Conforme a lo reportado por el ministerio de minas y energía, Figura 1.1, el Producto Interno Bruto que genera la minería en el país ha ido incrementando en los últimos 10 años considerablemente [16]. Aproximadamente la minería tuvo un incremento de 15% en aportes al PIB del país, comparando año 2009 y 2010. La tendencia para el 2011 es seguir incrementando, y eso muestra la importancia de que tienen los minerales en la economía del país y el gran aporte que tienen en miles de millones de pesos anualmente [17]. De igual forma, las exportaciones por parte del sector minero son muy

PIB MINERO

COMPORTAMIENTO PIB MINERO (2000-2010)
Miles de millones de pesos constantes de 2005



representativas y ha estado en aumento en los últimos años como se muestra en la figura 1.2.

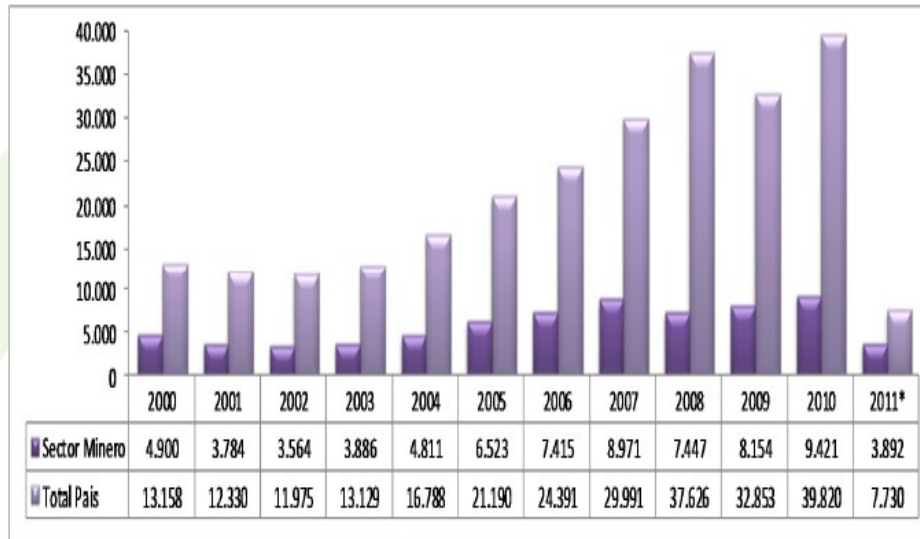
Figura 1.1. Estadística del PIB Colombiano. Sector minero

Fuente: Ministerio de Transporte y Energía

EXPORTACIONES MINERAS

(2000 – 2011*)

Millones de Dólares FOB



Unidad: MILLONES DE DOLARES FOB
 FUENTE: DANE – Banco de la República.
 Fecha última actualización: Mayo de 2011

Observaciones: Frecuencia: Anual
 * Cifras a Febrero.



Figura 1.2. Estadística de exportación minera en Colombia.

Fuente: Ministerio de Transporte y Energía

1.1.2 Usos del coltan

Cuando el coltan llega a las plantas procesadoras se tritura y se extraen los elementos constituyentes, especialmente el tantalio y el niobio [¹⁸], materia prima usada para la fabricación de condensadores, dispositivos que se usan en equipos electrónicos y gracias a la capacidad del tantalio controlan el voltaje soportando amplias variaciones de temperatura. Todo esto permite a los condensadores de tantalio almacenar la energía por cortos espacios de tiempo garantizando estabilidad en el flujo de corriente suministrado.

También se fabrican con los elementos extraídos de este mineral:

- ✓ Baterías y todo tipo de microcircuitos, chips indispensables para los teléfonos celulares, computadores, iPods, mp3, GPS, juegos de consolas (hasta tal punto que el lanzamiento de la conocida consola PlayStation 2 fue retrasado por la escasez del material).
- ✓ Misiles balísticos y armas inteligentes, ojivas (parte delantera del proyectil en la cual se encuentra el explosivo y que se desprende al alcanzar la máxima velocidad).
- ✓ Aleaciones especiales de acero utilizadas en la construcción de oleoductos y centrales nucleares, debido a su resistencia a la corrosión.
- ✓ Equipos de resonancia magnética de los cuales forma parte de las bobinas superconductoras que crean el campo magnético.
- ✓ Trenes de levitación magnética.
- ✓ En la medicina, para implantes en el cuerpo humano, debido a su resistencia a la corrosión provocada por los fluidos corporales y a que no interacciona con estos.

Cabe destacar que empresas grandes del sector como son la HC Starck, filial de la empresa alemana Bayer y la empresa Americana Cabot Corporation producen el 70% del refinado de Tantalio.

Con el coltan se ha logrado una reducción de tamaño en los dispositivos, debido a que el tantalio es un mineral ideal para almacenar carga eléctrica temporal y liberarla

cuando se requiere. Además de esto, es resistente a la corrosión y tiene características ultrarefractarias, por las características mencionadas este mineral puede ser usado en plataformas y bases espaciales y en futuras estaciones espaciales internacionales.

1.2 Caracterización del mineral en estudio

Entre las actividades importantes propuestas en este trabajo y que permitirán lograr los objetivos, está la caracterización de muestras del mineral coltan extraídas de yacimientos del mineral Coltan ubicados en la Orinoquía colombiana.

Se utilizó difracción de rayos X para caracterizar estructuralmente las muestras, por medio de microscopia electrónica de barrido (MEB) y EDS se obtuvieron las características morfológicas y composición de estas y por último, las propiedades magnéticas se estudiaron con espectroscopia Mössbauer.

1.3 Difracción de Rayos X (DRX)

La difracción de rayos X (DRX) es un método no destructivo para el análisis de una amplia gama de materiales: minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámicas, celdas solar, semiconductores y ha dado compuestos estructurales a la biología, debido a que puede construir entorno de moléculas tan complejas como las proteínas.

En la industria y en los laboratorios de investigación, la difracción de rayos X se ha convertido en un método indispensable para la caracterización de materiales y el control de calidad. Ejemplos de aplicación incluyen el análisis de fase cualitativo y cuantitativo, la cristalografía, investigaciones de textura y tensión residual, etc. Este método es una herramienta poderosa para investigar la disposición ordenada de los átomos o moléculas por medio de la interacción de la radiación electromagnética para producir

efectos de interferencia con estructuras comparables, en tamaño, a la longitud de onda de la radiación. Si las estructuras se disponen en un conjunto ordenado o retículo, las interferencias son nítidas, de tal manera que la radiación es dispersada o difractada sólo bajo condiciones experimentales específicas. El conocimiento de estas condiciones proporciona información, que se refiere a la geometría de las estructuras dispersantes. Las longitudes de onda de los rayos X son comparables a las distancias interatómicas en los cristales; la información obtenida a partir de la dispersión para ángulos amplios describe la disposición espacial de los átomos. La dispersión de rayos X para ángulos pequeños es útil en la determinación de periodicidades elevadas, que pueden surgir a partir de cristallitos laminares o a partir de espacios vacíos [19]. Los rayos X de una longitud de onda dada se difractan solo a unas determinadas orientaciones específicas de la muestra.

Las circunstancias en las que el resultado de esta interferencia es constructivo vienen reguladas por la ecuación de Bragg. Para que esta ecuación se pueda emplear se debe conocer con precisión la longitud de onda de los rayos X. La mayor aplicación de esta ley se encuentra en la interpretación de diagramas de difracción de Rayos X de cristales pulverizados (método de polvo). La difracción de rayos x por el método del polvo cristalino es una de las técnicas de mayor potencial para la cuantificación de fases cristalinas (y eventualmente de fases amorfas). Esto ha permitido confeccionar colecciones de diagramas de difracción de polvos de millares de compuestos y elementos diferentes, con lo que se puede comparar el diagrama de cualquier sustancia desconocida con los que existen en las bases de datos internacionales. Y lo que es más importante, la sencillez del diagrama permite que a veces se pueda reconocer incluso estando superpuesto a otro por lo que se puede estudiar mezclas e identificar sus componentes [20].

Los métodos de rayos-X de polvo cristalino se basan en el hecho de que cada sustancia cristalina presenta un diagrama de difracción único, como su huella digital.

Así, si se encuentra una igualdad exacta entre el diagrama de una muestra desconocida y el de una muestra fiable, se puede dar por sentada su identidad química. Cuando el material se prepara en forma de polvo fino, siempre habrá algunas partículas de polvo cuyos planos (hkl) queden orientados en un ángulo θ adecuado para satisfacer la ley de Bragg. Por tanto, se producirá un haz difractado, a un ángulo de 2θ en relación con el haz incidente, dando un patrón característico de difracción.

Supongamos que las ondas incidentes se reflejan especularmente en los planos paralelos de átomos de cristal, de forma que cada plano refleja solo una fracción muy pequeña de la radiación, como si se tratase de un espejo ligeramente plateado. En la reflexión especular, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. Aparecen haces difractados cuando las reflexiones proceden de planos de átomos paralelos interfieren constructivamente, como se indica en la Figura 3 [21]. Consideremos los planos de la red distantes entre sí. La radiación incidente está contenida en el plano del papel. La diferencia de trayectos correspondientes a rayos reflejados en planos adyacentes es $2d \sin \Theta$, midiéndose Θ a partir del plano. Se produce la interferencia constructiva de la radiación procedente de planos sucesivos cuando la diferencia de trayectos es un número n de la longitud de onda λ , de modo que:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (1)$$

Esta es la ley de Bragg. La reflexión de Bragg puede producirse únicamente para longitudes de onda $\lambda \leq 2d$. Por esta razón no se puede utilizar luz visible.

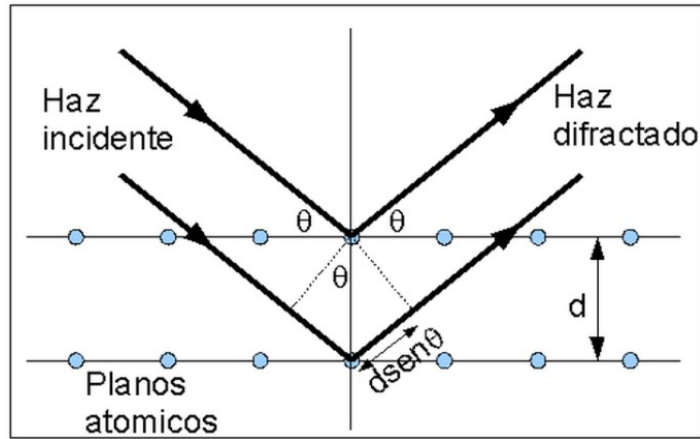


Figura 1.3. Deducción de la ley de Bragg $2d \sin \theta = n\lambda$; d es la separación o espaciado entre los planos atómicos paralelos y $2\pi n$ es la diferencia de fase entre reflexiones producidas en planos sucesivos. Los planos reflectores son independientes de los planos superficiales que limitan una muestra concreta.

1.4. Microscopio Electrónico de Barrido MEB

Esta técnica hace parte de las llamadas técnicas espectroscópicas, las cuales consisten en medir las respuestas de los sólidos cuando son sometidos a radiación, ya sea una onda electromagnética o partículas. La respuesta solo puede ser la dispersión o absorción de la radiación incidente, o puede involucrar la absorción seguida por la emisión de otro tipo de radiación.

En el MEB se construyen imágenes y contrastes aprovechando la emisión de electrones (electrones secundarios) de una muestra, cuando sobre ella incide un haz enfocado de electrones de alta energía. La muestra también emite rayos X los cuales pueden ser analizados para obtener información sobre la composición del material [22]. Cada señal obtenida del MEB es captada con un detector apropiado, Figura 1.4,

consiguiéndose grandes aumentos en las observaciones superficiales y microestructurales.

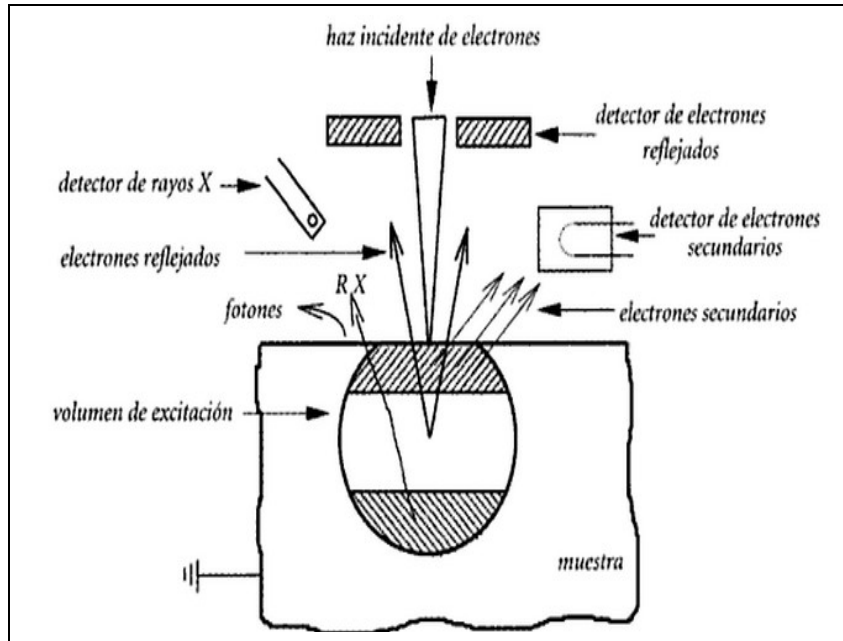


Figura 1.4. Ilustración esquemática de la emisión de electrones, rayos X y de fonones por la interacción de un haz incidente de electrones con la muestra.

Los electrones emitidos por la interacción del haz incidente son colectados por los correspondientes detectores para producir una señal eléctrica, la cual se utiliza para modular la intensidad de un haz de electrones que incide en la pantalla de un tubo catódico TRC, de manera que mediante un barrido sincronizado del haz incidente en la superficie de una muestra y del haz incidente de la pantalla del TRC, se produce en esta una imagen de la muestra, Figura 1.5. La emisión de electrones y de rayos X de la muestra se origina por las colisiones de los electrones del haz incidente con electrones de los átomos del material de la probeta.

Algunas colisiones son elásticas de modo que algunos electrones del haz primario pueden salir de la superficie de la muestra sin una significativa pérdida de energía, estos son los llamados electrones reflejados. Pero la mayoría de las colisiones son inelásticas y, entre otros efectos, originan emisión de electrones de baja energía conocidos como electrones secundarios.

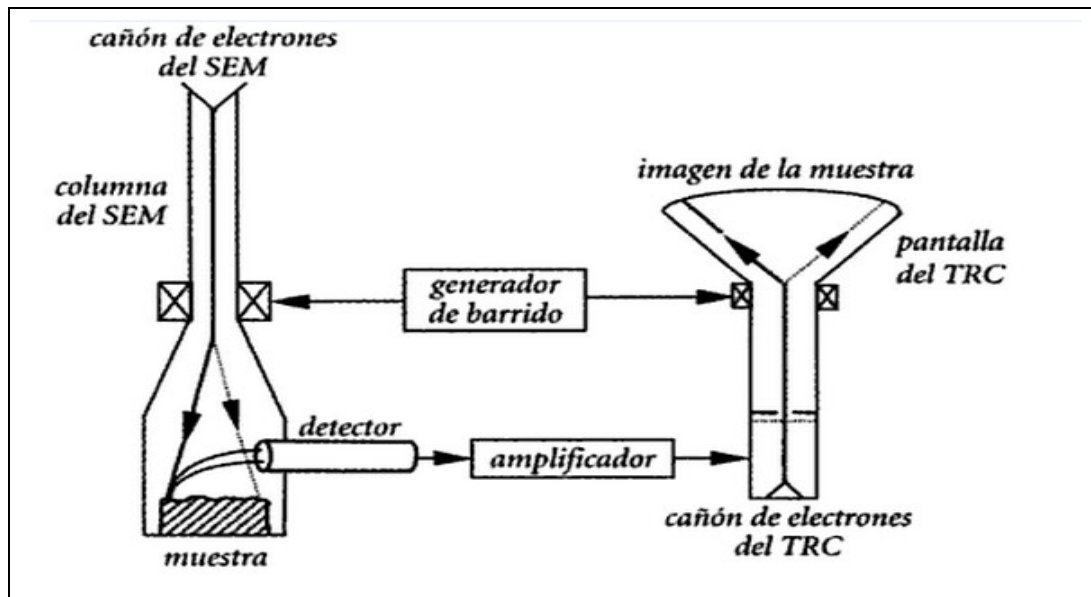


Figura 1.5. Diagrama del principio de la formación de imágenes en el SEM. La imagen en la pantalla del TRC es un mapa de las intensidades relativas de la emisión de electrones en la superficie de la muestra.

Para la obtención de las imágenes, se utilizan dos tipos de señales distintas: la proveniente de los electrones electrodispersados (backscattered electrons–BSE) y la de los electrones secundarios (secondary electrons–SE), siendo, cada señal, resultado de una forma de interacción específica entre el haz de electrones incidente y el emitido por la muestra, pudiendo ser responsables por diferentes tipos de contraste y de información del material. Las señales se pueden catalogar de acuerdo a si son influenciadas principalmente por dispersión elástica o inelástica [23].

Los electrones retrodispersados son generados debido a la dispersión elástica, y son electrones re-emergentes de la muestra. Esos electrones surgen de la dispersión elástica cuando la trayectoria de los electrones cambia más de 90° de la dirección inicial de movimiento; así ellos retroceden, mas en el mismo hemisferio que contiene el haz original. Los electrones retrodispersados proporcionan datos relacionados con las diferencias de número atómico dentro y entre las partículas. La imagen es obtenida de los electrones usados para bombardear la muestra. Un porcentaje de esos electrones primarios experimenta cierto número de colisiones dentro de la muestra para, posteriormente, volver a surgir en la superficie de esta. El número de electrones retrodispersados que re-emergen es controlado por el número de colisiones, ocurridas, que, a su vez, son controladas por el número atómico de los elementos que componen la muestra. El contraste de imagen obtenido a través de los electrones retrodispersados (BSE) es utilizado para una mejor detección de las fases existentes, una vez que esta señal proporciona un contraste de imagen en función de la diferencia de número atómico. Cuanto menor es el número atómico de una determinada fase, menor será la emisión de electrones de esta región, obteniéndose en la imagen una región más oscura. Análogamente, cuanto mayor es el número atómico, mayor es la emisión de electrones, y más clara se presentará esta región.

Como el haz de electrones primarios es barrido en toda la superficie, electrones de un amplio rango de energías son emitidos de la superficie en la región donde el haz incide. Esos electrones incluyen electrones retrodispersados primarios, electrones Auger, mas la gran mayoría será de electrones secundarios formados en los múltiples procesos de colisiones inelásticas. El haz de electrones secundarios que alcanza el detector es almacenado, y la imagen en el microscopio es constituida por un "gráfico" de esta corriente. El contraste de las micrografías resulta de varios mecanismos, mas principalmente de las variaciones en la topografía de la superficie. Por consiguiente, la micrografía de los electrones secundarios es virtualmente la imagen directa de la estructura real de la superficie. La resolución de la técnica es limitada por el tamaño

mínimo que puede ser obtenido con el diámetro del haz de electrones incidente y, en última instancia, por la dispersión del haz, una vez que este interactúa con la muestra. El contraste de imagen obtenido por medio de los electrones secundarios (SE) es utilizado para una mejor resolución de la superficie de la muestra, obteniéndose un mejor contraste de relevo. [24].

Otra función importante del MEB es que permite realizar microanálisis para determinar la presencia cualitativa y/o cuantitativa de elementos en detalles microscópicos, como es el caso de inclusiones y precipitados en aceros u otras aleaciones.

La técnica de Espectroscopía de Energía Dispersiva (EDS) es utilizada generalmente en combinación con el microscopio electrónico de barrido, que en este caso cumple la función de fuente de electrones acelerados, mientras que el EDS desempeña la función de detector de la composición de los puntos o zonas de la superficie de la muestra analizada [25], siendo ésta una técnica analítica usada para caracterizaciones químicas de un prototipo utilizado en conjunto con el MEB para el microanálisis composicional. Es útil para la caracterización de materiales ya que puede realizar microanálisis cualitativos y semicuantitativos de un ejemplar con un aumento relativamente bajo (~25X) hasta llegar a un aumento importante (~20.000X).

La técnica SEM-EDS se utiliza para realizar análisis de fallas, identificación de fases, análisis microquímicos y caracterización de defectos. Esta técnica permite:

- ✓ La identificación de la química y las fases de un material desconocido.
- ✓ La caracterización de defectos e impurezas internas en el producto fabricado para determinar su distribución y morfología.

- ✓ La caracterización de productos contaminantes y corrosivos mediante microanálisis.
- ✓ Determinación de la distribución elemental de fases intra/inter a través de un mapeo de rayos X.
- ✓ Determinación del modo de falla (corrosión, mecánica), fractura (dúctil, frágil, sobrecarga de fatiga), dirección de la propagación de la fractura, zona y mecanismo de propagación de la fractura mediante el examen microscópico de la fractura de un compuesto fallado con mucho aumento.

Esta técnica permitió estudiar mejor la composición del sistema que se analizó.

1.5. Espectroscopia Mössbauer.

Es una técnica de muy alta resolución ($1/10^{12}$) en energía basada en el Efecto Mössbauer.

Esta es una técnica espectroscópica basada en la emisión y absorción resonante de rayos gama en sólidos.

El efecto Mössbauer representa la ocurrencia de los procesos de emisión, absorción y dispersión de fotones gamma, los cuales tienen lugar sin la retirada del núcleo implícito en el proceso. Sin embargo, solo el núcleo con apropiados niveles de energía, tal como ^{57}Fe , ^{119}Sn o ^{151}Eu se puede emplear como fuentes, porque estos deben poseer un gran valor de fracción libre de retirada [26].

Si se considera un núcleo radioactivo de cierta especie isotópica en el estado excitado de energía E_e que experimenta una transición resonante al estado fundamental de energía E_f emitiendo un fotón γ de energía E_γ . Bajo ciertas condiciones, este fotón γ de energía E_γ puede ser absorbido por otro núcleo de la misma especie isotópica en su estado fundamental, de manera que:

$$E_o = E_e - E_f = E_\gamma \quad (2)$$

Este fenómeno se llama **absorción y resonante nuclear**. Esto se muestra en la figura 1.6. El sentido inverso de este proceso determina la **Emisión y Nuclear resonante** [27].

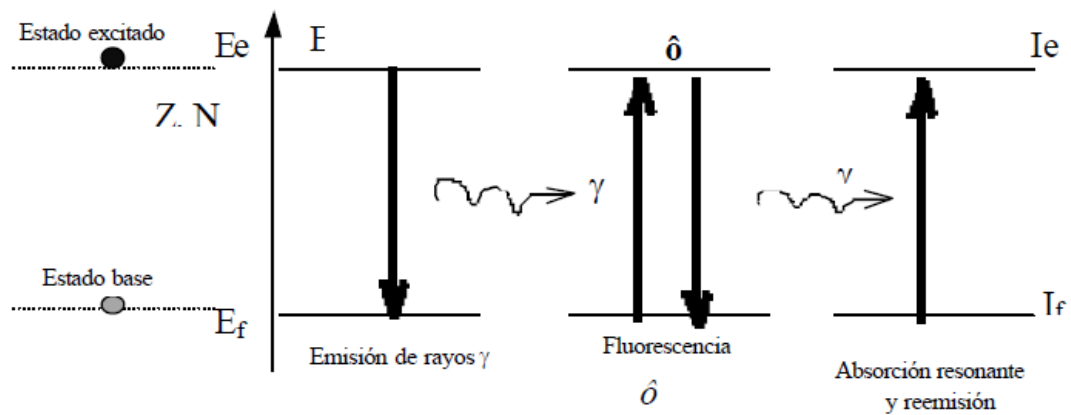


Figura 1. 6. Representación esquemática del proceso de absorción y emisión resonantes de Rayos gamma.

Después de producirse la absorción resonante del rayo γ por el segundo núcleo, éste permanece en el estado excitado por el tiempo de vida media T y luego decae al estado fundamental por emisión γ o conversión interna. Este proceso se llama Fluorescencia nuclear.

El efecto Mössbauer se explica bajo la consideración que los átomos absorbentes o emisores no están libres sino que forman parte de una red cristalina. Así la pérdida de energía por retroceso y el posible intercambio de energía con la red están gobernados por la dinámica de sólido cristalino. De manera que el momento de retroceso, en lugar de ser transferido a un solo núcleo, como en el caso de átomos libres, es más bien transferido a todo el cristal y el intercambio de energía con la red se da en múltiplos de cuantos de energía asociado a los fonones.

El estado vibracional de un sólido cristalino es descrito por la mecánica cuántica. El efecto Mössbauer es favorecido por el hecho que la vida media asociada a la transición nuclear, T , es mucho mayor al periodo de vibración característico de los átomos del cristal.

En este contexto cabe la probabilidad que se dé la emisión o absorción resonante sin intercambio de energía con el movimiento vibracional del cristal, lo cual da lugar al efecto Mössbauer. La energía de retroceso impartida a todo el cristal resulta despreciable debido al gran número de átomos presentes en un cristalito. Un parámetro que mide esta posibilidad es el “**factor f**”. Se denomina factor f a la probabilidad de emisión absorción y resonante sin la excitación fonónica del sólido; es decir, f es la medida de la probabilidad que ocurra el efecto Mössbauer en una transición dada [27]. Esta probabilidad se expresa sobre la base del elemento de matriz del operador e^{ikx} está dada por:

$$f = \langle l_i | e^{ik.x} | l_i \rangle^2 \quad (3)$$

Donde l_i representa el estado vibracional del sólido, el cual no cambia en un proceso Mössbauer. Allí \mathbf{K} es el vector de onda del fotón y \mathbf{X} es la coordenada del centro de masa del átomo Mössbauer.

Es importante resaltar que en el núcleo Mössbauer, además de estar cargado positivamente y poseer un tamaño finito, tiene un momento magnético e interactúa con los campos eléctricos y magnéticos del entorno produciendo pequeñas alteraciones en los niveles de energía del sólido al que pertenecen. Las interacciones consideradas en la espectroscopia Mössbauer son tres:

1. La interacción electrostática entre los orbitales electrónicos s en el átomo y la carga nuclear, descrito por el parámetro hiperfino llamado **Corrimiento Isomérico (ISO O δ)**. Este proporciona información acerca del estado de oxidación y de la coordinación del átomo estudiado.
2. La interacción electrostática entre el gradiente del campo eléctrico y el momento cuadrupolar eléctrico nuclear, descrita por el llamado **Corrimiento Cuadrupolar (2 ϵ)** o por el desdoblamiento cuadrupolar (**QUA O ΔE_Q**). Esta interacción proporciona información acerca de la deformación de la red cristalina.
3. La interacción magnética entre el momento magnético nuclear y el campo magnético externo al núcleo llamado interacción Zeeman nuclear que depende del **Campo Hiperfino (Hhf)**.

Una limitación importante de la espectroscopia Mössbauer está encontrar una fuente conveniente de rayo gama. Usualmente, esto consiste en un padre radiactivo que

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

En este capítulo se describirá detalladamente las etapas seguidas en este trabajo que permitieron el logro del objetivo general, desde la obtención de la materia prima hasta las técnicas que se utilizaron para caracterizarla. Las etapas seguidas se describen a continuación:

2.1 Obtención de la materia prima

Las muestras de coltan estudiadas fueron recolectadas en el departamento de Guainía, región localizada en el oriente colombiano. No fue posible ingresar hasta la mina, ya que es zona de alto riesgo.

La extracción de este mineral se realiza como la del oro, a cielo abierto, donde los trabajadores cavan grandes cráteres para sacar a “la luz” el coltan enterrado. Después lo ponen en agua para remover el barro y así poder conseguir que el coltan se deposite en el fondo.

El coltan obtenido en esta región del país sin procesar se encuentra en forma de roca de diferentes tamaños, en un rango aproximado de 2cm a 0.5 mm

Para facilitar el manejo del coltan, fue indispensable triturar la roca que lo contiene. El método que se utilizó para la molienda fue molienda de alta energía, utilizando para esto un molino planetario. La molienda se llevó a cabo en un recipiente de ágata utilizando bolas de zirconio. La razón entre la masa de las bolas y la cantidad de roca molida fue de 16:1. Debido a que el medio donde se encuentra el coltan posee gran

cantidad de hierro, fue necesario molerlo durante 80 horas para lograr un polvo bien fino. Durante la molienda el planetario fue programado a una velocidad 250 rpm dando recesos de 5 minutos. Es importante destacar que a ninguna de las muestras se les realizó tratamiento químico. Las muestras fueron llamadas M1, M2, M3 y M4 fueron obtenidas de diferentes partes de la mina, después de la molienda el polvo obtenido fue sometido a varios procesos de caracterización: DRX, SEM-EDS y espectroscopia Mössbauer

2.2 Caracterización de las muestras

2.2.1 Difracción de rayos X

Para el análisis de difracción de rayos X (DRX) se trabajó con los polvos de coltan que se obtuvieron de la molienda, los cuales fueron caracterizados en un difractómetro marca Philips panAnalytical Expert Pro (figura 2.1) con radiación Cu K_α y rango de medida 2θ de 10° - 60° , a temperatura ambiente. Este equipo pertenece al Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas CINDECA, Argentina.



Figura 2.1 Difractómetro panAnalytical Expert Pro

2.2.2 Microscopía electrónica de barrido

Para el análisis de MEB-EDS se trabajó con el microscopio de barrido marca Philips SEM 505, con capacidad analítica a través del sistema de Microsonda EDAX DX PRIME 10 para análisis cualitativo/ cuantitativo (figura 2.2) que pertenece al Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias Aplicadas CINDECA, Argentina. También cuenta con un vibrador ultrasónico para la dispersión de partículas y limpieza de superficies. Debido a que el coltan en su estado natural no es un material conductor, el análisis SEM-EDS se realizó a bajo vacío, sin metalizar las muestras debido a que al caracterizarlas a alto vacío metalizadas se contaminaron al mezclarse con el oro de dicho metalizado.



Figura 2.2. Microscopio electrónico de barrido (SEM-EDX) marca Philips SEM 505, (CINDECA, La Plata- Argentina), utilizado en este trabajo

2.2.3 Espectroscopia Mossbauer

Para el análisis con espectroscopia Mössbauer se utilizaron 0.5 gramos de polvo bien fino para luego colocarlo en un porta-muestras, el cual es una cinta adhesiva que permite una mejor adhesión de la muestra. Después de calibrar el equipo se coloca la muestra dentro del sistema de medición. Para obtener un buen espectro cuando se trabaja con minerales, fue necesario hacer un “barrido” de este mineral durante 4 días, logrando con esto un espectro que se puede analizar confiablemente.

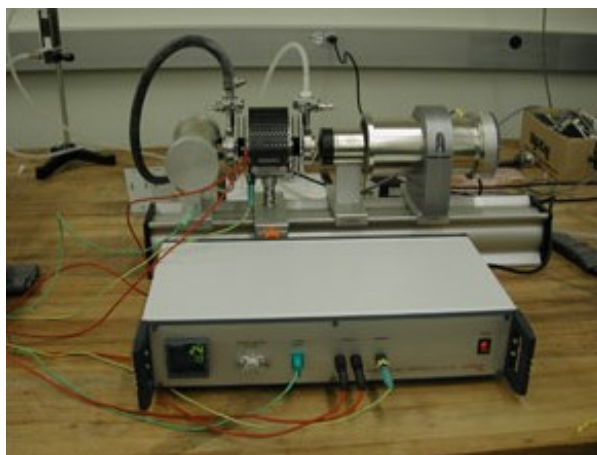


Figura 2.3 Sistema de Espectroscopia Mössbauer

El equipo usado para el análisis de espectroscopia Mössbauer fue un espectrómetro convencional de transmisión con fuente radioactiva de Co 57 inmerso en una matriz de Rodio. Este equipo no tiene marca comercial, ya que fue construido por el profesor Alberto Sánchez de la Universidad del Valle. Este equipo pertenece a la Universidad del Tolima.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

3 Resultados

El estudio que se realizó con los métodos no destructivos de análisis arrojaron los siguientes resultados

3.1 Caracterización por difracción de rayos X

Con ayuda de este método no destructivo de análisis se pudo obtener las fases existentes en los polvos que contienen coltan extraído en la Orinoquía colombiana. Las muestras M1 y M4 por presentar baja cristalinidad no fue posible su análisis por esta técnica.

En la muestra M2, se observó presencia de casiterita, se observa un considerable contenido de Fe formando parte de fases siderita (FeCO_3) e ilmenita (FeTiO_3) como se observa en el difractograma presentado en la figura 3.1.

Analizando los espectros de DRX de la muestra M3 (figura 3.2) se encontró un contenido de 73% de casiterita (SnO_2), 11% de granate (tipo grosularita, $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); la presencia de los anteriores minerales hacen referencia a rocas ígneas o metamórficas de alta temperatura en el medio en que este mineral se genera; 10% de calcita (CaCO_3); 4% de Columbita-Tantalita con una composición $\text{Fe}(\text{Nb}_{0,285}\text{Ta}_{0,715})_2\text{O}_6$. Este último resultado indica que en esta solución sólida, existiría en forma predominante la tantalita (FeTa_2O_6 PDF: 84-0839) en un 71,5% frente a un 28,5% de columbita (FeNb_2O_6 PDF: 73-1707); por último se detectó la presencia de un 2% de ilmenita (FeTiO_3). Dado que el límite de detección de la técnica de DRX es para contenidos superiores al 5%, estas asignaciones deben considerarse valores aproximados. En la figura 3.2, se indican los picos asignados a las fases posibles, dando como resultado 5 fases distribuidas de la siguiente manera: una fase de coltan (Niobio y tantalio), una

fase de casiterita, una fase de grosularita, una de calcita y por último, una fase de ilmenita.

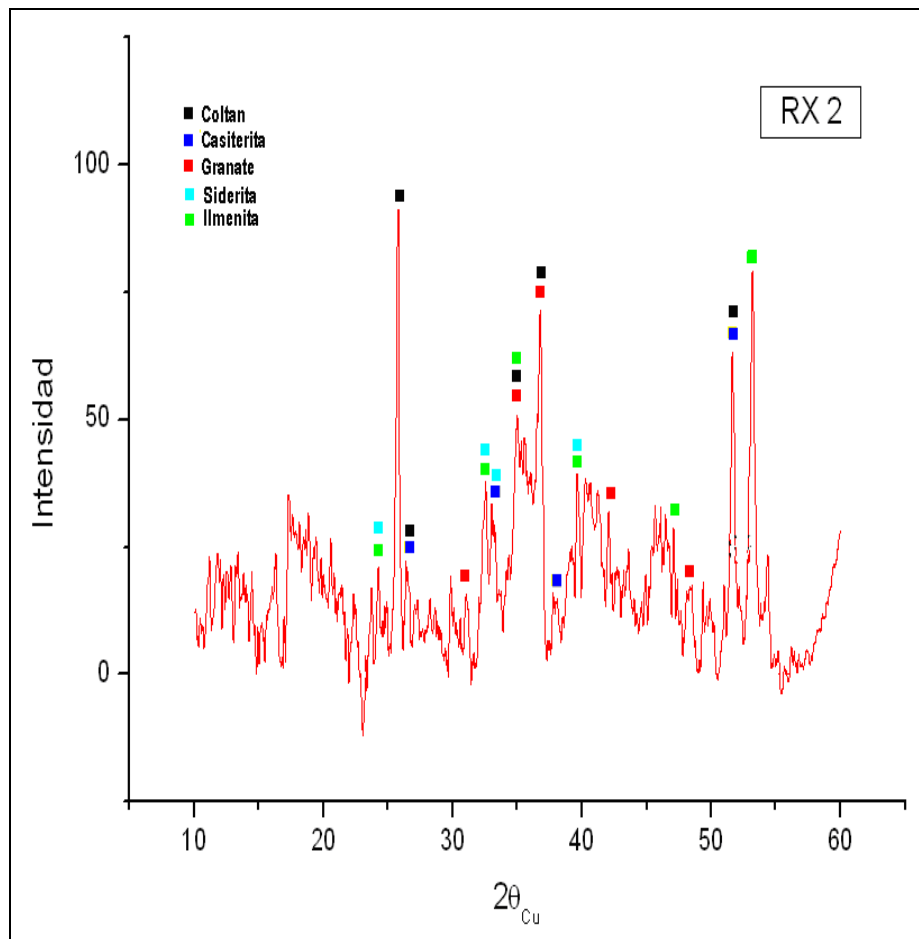


Figura 3.1: Espectro de Difracción de Rayos X de la muestra de coltan M2

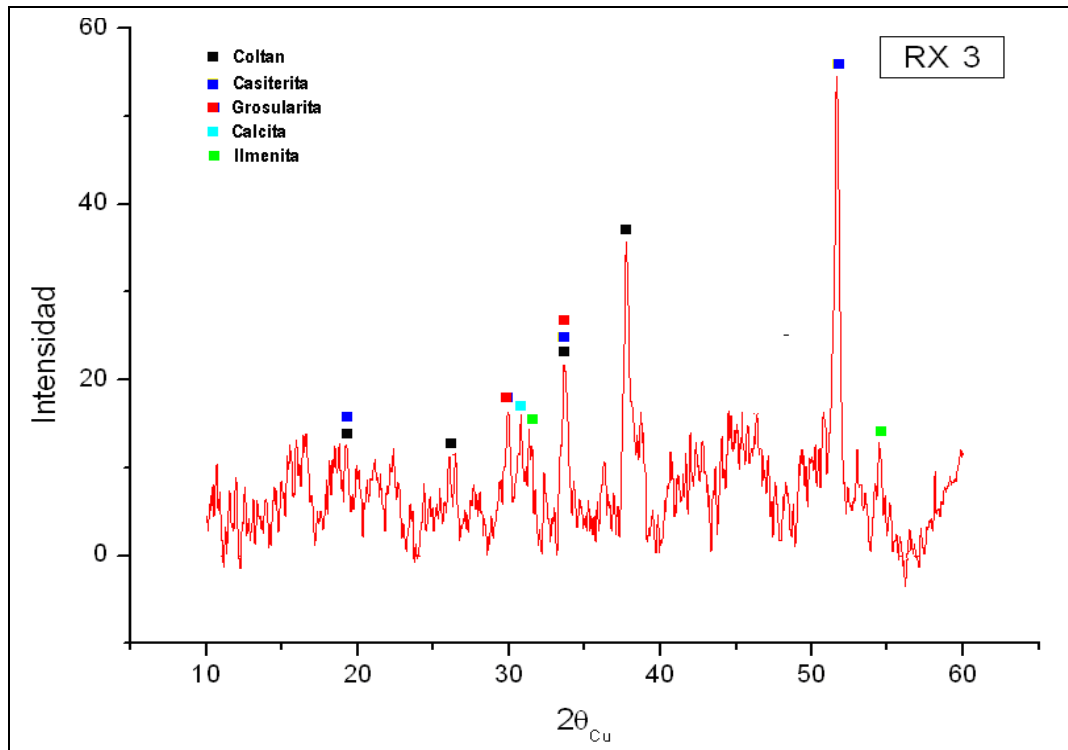


Figura 3.2. Espectro de Difracción de Rayos X de la muestra de coltan M3

En base a estos resultados, y teniendo en cuenta las leyes minerales convencionales no podemos establecer que las muestras posean un contenido importante de Niobio y Tantalio, componentes del coltan. Estos resultados se corroboran con los obtenidos de los análisis de EDS.

3.2. Caracterización por microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS)

El análisis MEB-EDS permitió obtener la distribución de los elementos químicos existentes en los polvos analizados, dando como resultado que el mineral analizado

proveniente de la Orinoquía colombiana, utilizado en este trabajo, corresponde a la composición del coltan que se encuentra en la literatura, aunque en un bajo porcentaje.

En la tabla 3.1 se listan los datos químicos semicuantitativos obtenidos por análisis de EDS para la muestra M1. Los resultados obtenidos muestran un alto porcentaje de hierro (Fe) y titanio (Ti); sin embargo en esta muestra encontró poca cantidad de niobio (Nb) y el tántalo (Ta), elementos constituyentes del coltan, sólo se encontró 0.9% de Nb y 2.58 % de Ta.

ELEMENTO	Porcentajes encontrados de cada elemento			
	M1	M2	M3	M4
C	2.13	7.19	5.72	3.06
O	28.81	36.52	32.55	26.82
Al	3.04	11.36	6.99	3.47
Si	2.93	9.89	6.04	8.51
Nb	0.90	0.54	0.71	2.30
Sn	1.41	4.91	41.06	3.16
Ca	0.23	-	0.94	0.17
Ti	11.00	2.87	1.11	8.10
V	0.04	0.05	-	-
Mn	0.77	-	0.13	0.75
Fe	46.17	24.72	2.95	40.23
Ta	2.58	1.32	1.78	3.43
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabla 3.1. Elementos que constituyen la muestra del mineral

En la figura 3.3, se observa el espectro de EDS de la muestra M1, donde se observa el alto contenido de hierro que posee.

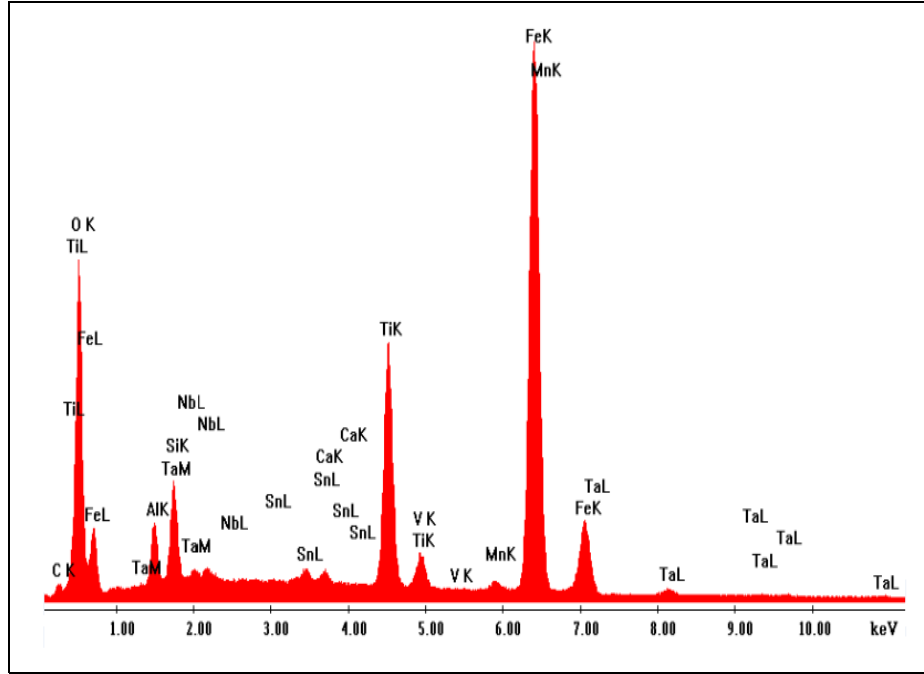


Figura 3.3. Espectro de la muestra M1

Al igual que en los resultados anteriores se ha observado poco contenido de niobio y tantalio en las muestras M2, M3 y M4, todas provenientes de la misma mina ubicada en el Orinoco, observándose también que la muestra M3 no presenta alto contenido de hierro comparado con el encontrado en las muestras M2 y M3.

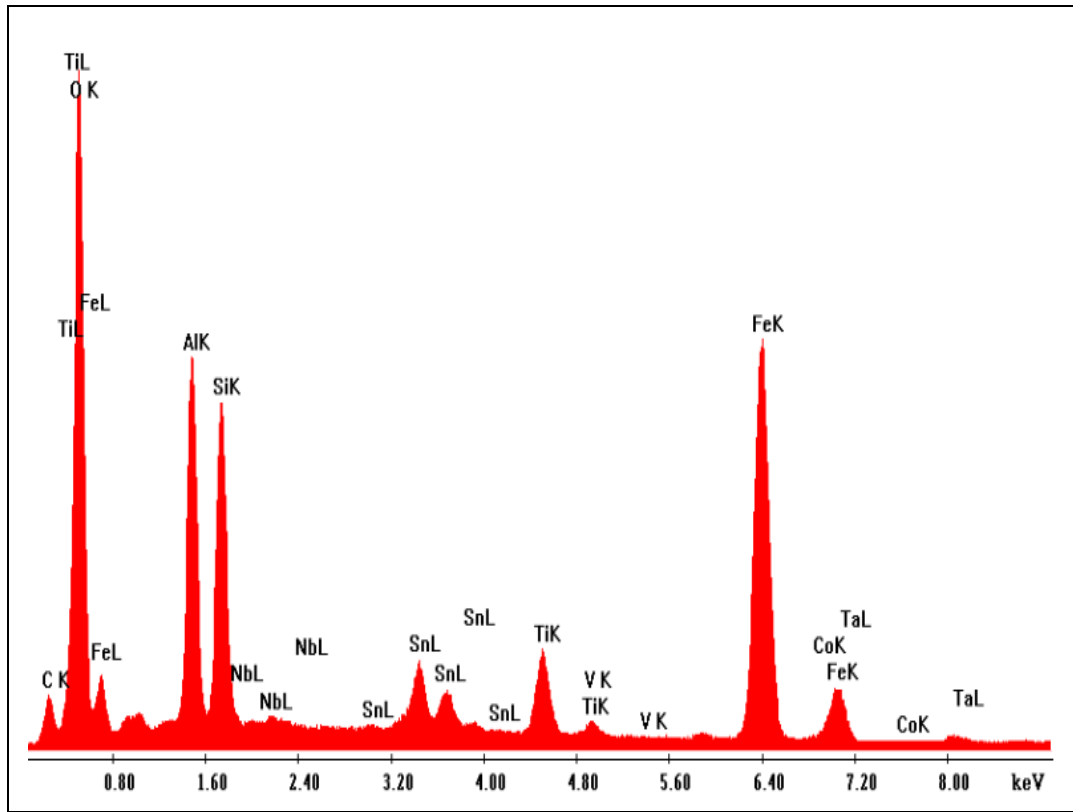


Figura 3.4. Espectro de la muestra M2

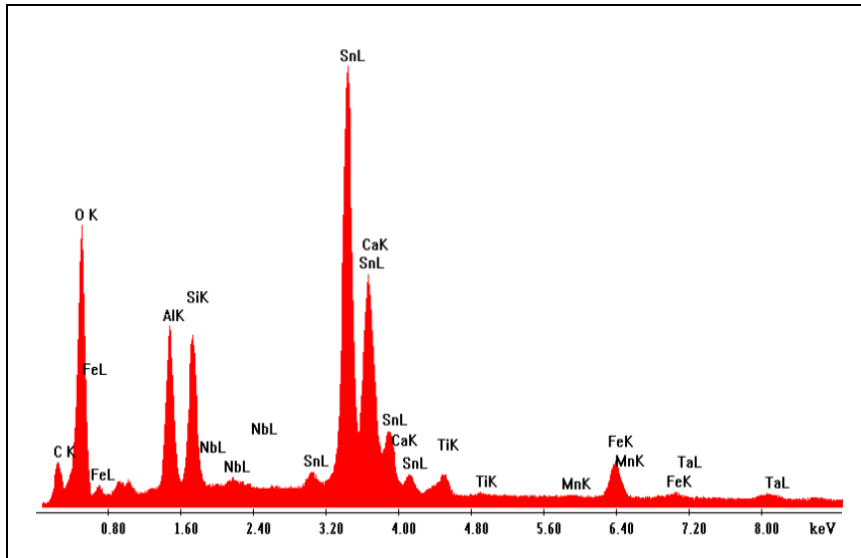


Figura 3.5. Espectro de la muestra M3

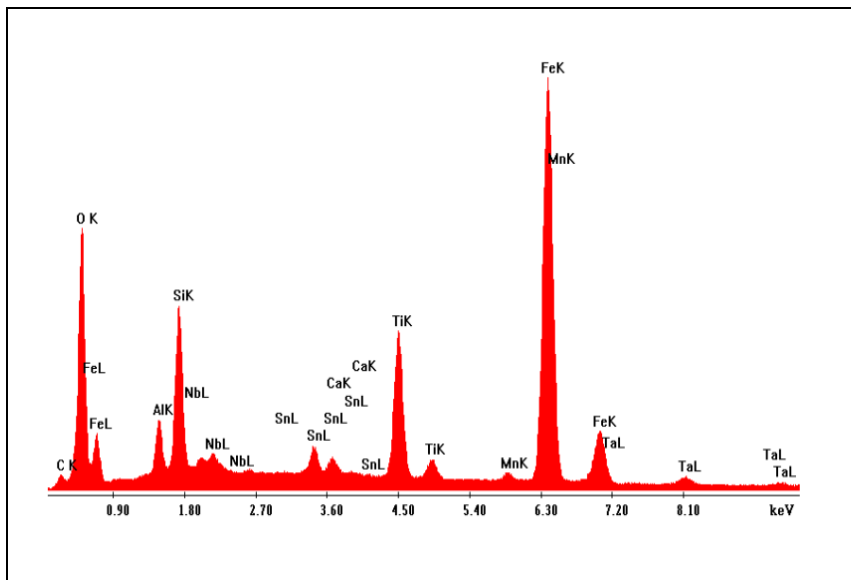


Figura 3.6. Espectro de la muestra M4

Al comparar el “mapping” de las muestras analizadas se puede concluir que las rocas provenientes de la mina ubicada en la Orinoquía contienen un número apreciable de

elementos, pero en ninguna de ellas el niobio y el tántalo se encuentran en un porcentaje apreciable.

En la figura 3.7 se observa la micrografía de la muestra M1 de los polvos analizados con aumento de 400X. Se observa que los polvos están compuestos de partículas de tamaño uniforme, producto de la molienda realizada.

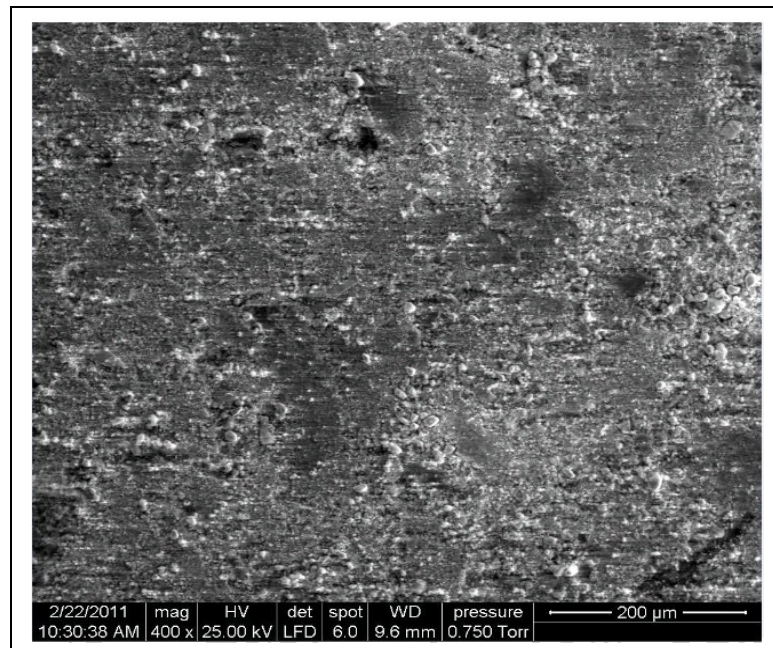
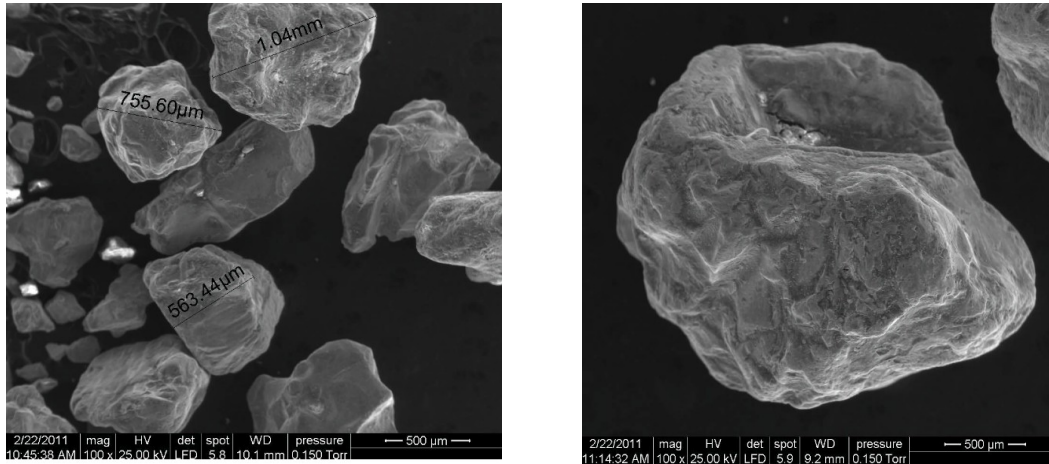


Figura 3.7. Microscopia electrónica de barrido para la muestra M1

En esta figura 3.8(a) se observa la forma de las partículas que conforman la muestra M2, estos poseen forma irregular y un amplio rango de tamaño, la figura 3.8(b), presenta una de las partículas que conforman el polvo, observándose fractura en ella causada posiblemente por el proceso de molienda de alta energía.



(a)

(b)

Figura 3.8. Microscopia electrónica de barrido de las muestras: (a) M2 y (b) M3

3.3 Caracterización por Espectroscopia Mössbauer

Para realizar esta prueba fue necesario calibrar el espectro Mössbauer tomando el espectro de calibración, que en este caso fue el de una lámina delgada de Fe metálico a temperatura ambiente. El espectro originado de esta calibración es un sexteto magnético (figura 3.9), cuyo centro se toma como velocidad cero. Para la calibración se utilizó un número de canales de 125 y tiempo de duración de 1 hora por espectro de calibración. El absorbente de calibración fue una lámina de hierro natural.

Se estimó un tiempo de 5 días para la toma de los espectros, tiempo suficiente para la obtención de un espectro Mössbauer de alta calidad para minerales. Inicialmente se utilizó la muestra M1, la cual tenía un alto contenido de hierro. El espectro obtenido muestra un sexteto (figura 3.10), correspondiente a un material ferromagnético. En este espectro se pueden observar tres componentes: dos sextetos con campos hiperfinos de 51 Teslas y 46.5 T atribuidos a la hematita y a la magnetita respectivamente y un

doblete atribuido a la ilmenita. Se puede observar que el 66% del área del espectro es magnética.

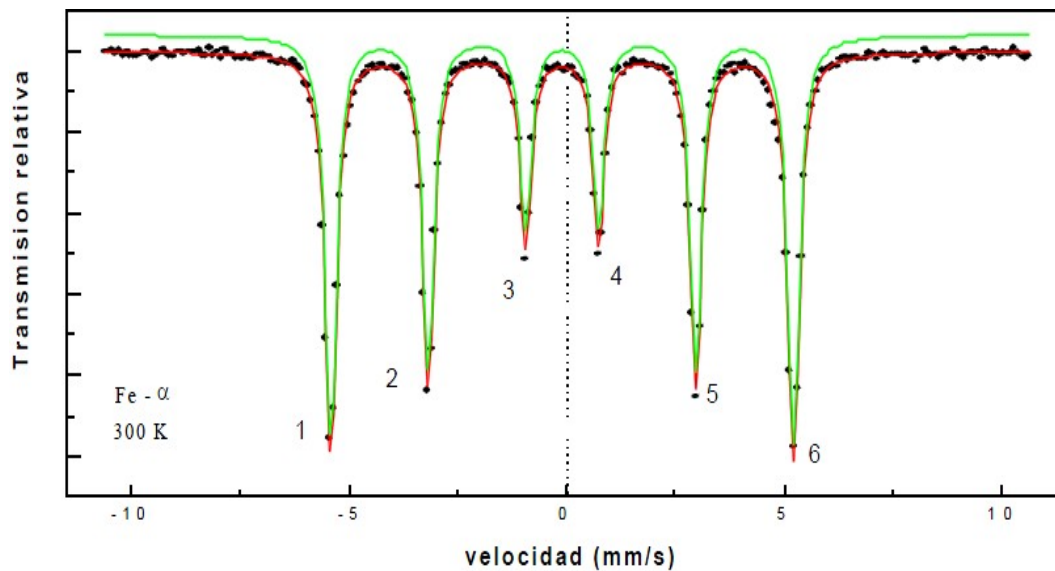


Figura 3.9 Espectro Mössbauer de Fe- α a temperatura ambiente.

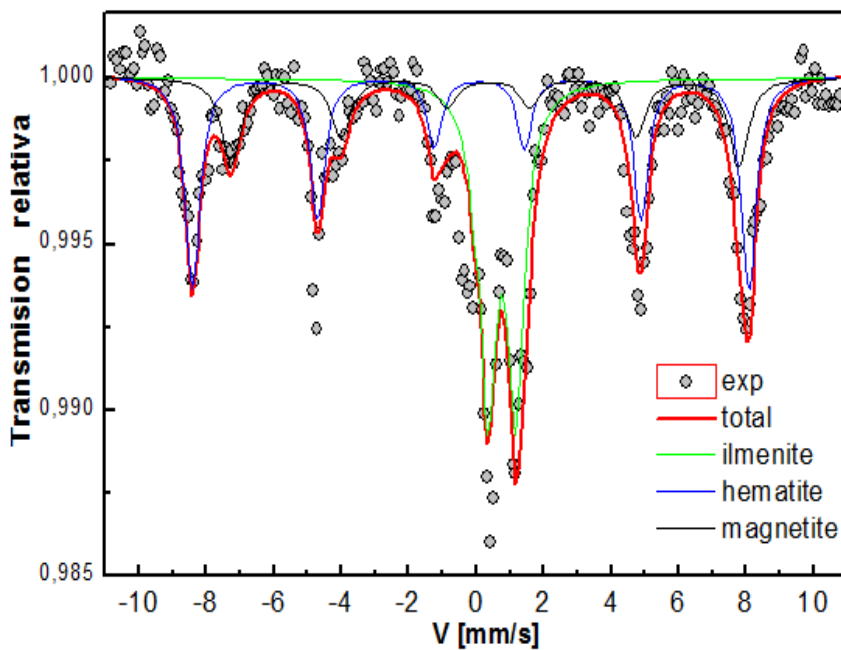


Figura 3.10 Espectro de Mössbauer para la muestra M1

La obtención de parámetros hiperfinos son mostrados en la tabla 3.2, donde se presenta: el campo hiperfino (B_{hf}), cuyos valores son dados en Teslas T, el desplazamiento isomérico (δ), el corrimiento cuadrupolar (ϵ) y el ancho de línea (Γ), dados en mm/s.

componentes	δ (mm/s)	Γ (mm/s)	ϵ (mm/s)	B_{hf} (T)	AREA (%)
ilmenita	1.01	0.60	0.84		36
hematita	0.26	0.52	-0.26	51	42
magnetita	0.60	0.68	-0.10	46.5	22

Tabla 3.2 Parámetros Mössbauer de la muestra de coltan M1

En la figura 3.11 se presenta el espectro de la muestra M3, en ella se observa un doblete atribuido a la ilmenita y otro doblete, dando como resultado una muestra paramagnética, con un porcentaje del 60%. Los parámetros hiperfinos son mostrados en la tabla 3.2, los cuales indican las concentraciones relativas de los compuestos en la muestra y pueden ser usadas para el análisis semicuantitativo.

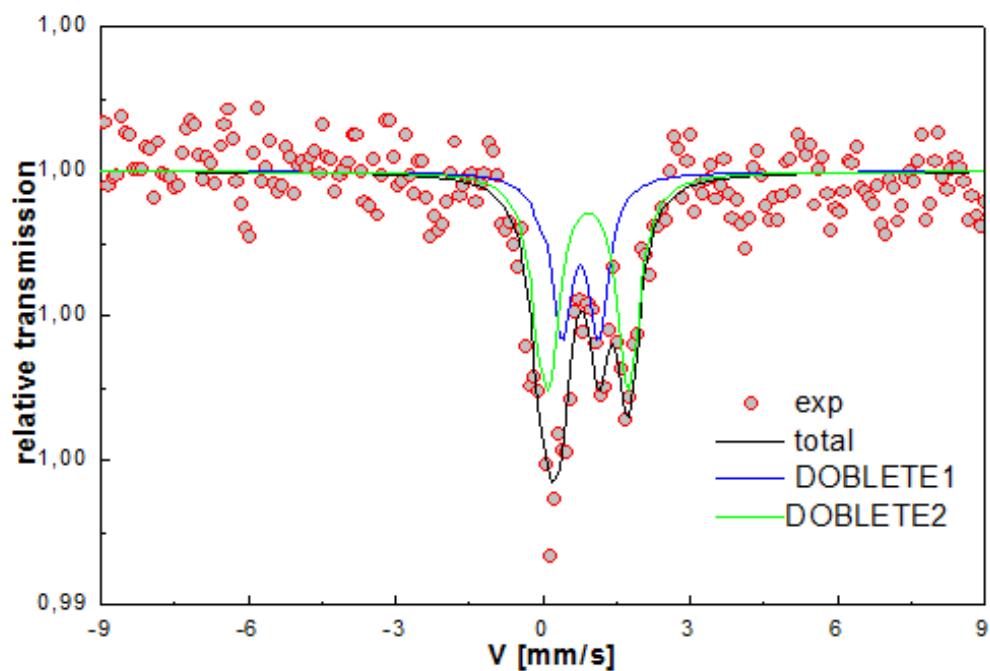


Figura 3.11 Espectro Mössbauer para la muestra M3.

COMPONENTE	δ (mm/s)	Γ (mm/s)	ϵ (mm/s)	Area
DOBLETE1	1,051	0,5	0,766	40
Ilmenita	1,219	0,54	1,65	60

Tabla 3.3. Parámetros Mössbauer de la muestra M3

Conclusiones

- Teniendo en cuenta la teoría sobre la composición del coltan, las muestras más representativas fueron M1, M3 y M4
- El coltan en estado natural, presenta fases magnéticas del 66% atribuidas a la hematita y a la magnetita, presentando una fase paramagnética atribuida a la ilmenita.
- El coltan presente en la Orinoquía colombiana presenta baja pureza, debido a su poco contenido de niobio y tantalio, elementos constituyentes en este mineral.
- Se realizaron pruebas de corriente – voltaje en el laboratorio de bajas temperaturas de la universidad del Cauca con el coltan, pero no arrojó ningún resultado debido a la gran resistencia que presentaba el mineral.

Presentación en eventos

- FIRST CENTENNIAL OF SUPERCONDUCTIVITY “TRENDSON NANOSCALE SUPERCONDUCTIVITY AND MAGNETISM”. International Workshop, Cali Junio 29 al 1 de Julio de 2011. MAGNETIC PROPERTIES OF COLTAN.

REFERENCIAS:

¹ [] *OSYROUAMOV, M. Espectroscopia infrarroja de reflexion en mineralogía avanzada*

² [] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. <http://www.minminas.gov.co>

³ [] TODD, B (2006) Congo, coltan, conflict. Heinz School Rev 3:1.
http://journal.heinz.cmu.edu:8010/articles/congo_coltan_conflict/ Accessed 1 Feb 2011

⁴ [] HURLBURT CS, Klein C (1977) Manual of mineralogy. Wiley, New York

⁵ [] REVISTA MINERA DE VENEZUELA, 7 de Julio de 2010. Ciudad Guayana, Estado Bolívar, Venezuela.

⁶ [] TODD, B (2006) Congo, coltan, conflict. Heinz School Rev 3:1.
http://journal.heinz.cmu.edu:8010/articles/congo_coltan_conflict/ Accessed 1 Feb 2011.

⁷ [] MELCHER, F; SINTNIKOVA, MA; GRAUPNER, T; MARTIN, N; OBERTHUR, T; HENJESKUNST, F; GABLER, E; GERDES, A; BRATZ, H; DAVIS, DW; DEWAELE, S (2008) Fingerprinting of conflict minerals: columbite – tantalite ('coltan') ores. SGA News 23:6–14.

⁸ [] HURLBUT, C. Manual de mineralogía de Dana. Editorial Reverté. Barcelona, España. 2006.

⁹ [] TODD, B (2006) Congo, coltan, conflict. Heinz School Rev 3:1.
http://journal.heinz.cmu.edu:8010/articles/congo_coltan_conflict/ Accessed 1 Feb 2011.

¹⁰ [] MELCHER, F; SINTNIKOVA, MA; GRAUPNER, T; MARTIN, N; OBERTHUR, T; HENJESKUNST, F; GABLER, E; GERDES, A; BRATZ, H; DAVIS, DW; DEWAELE, S (2008) Fingerprinting of conflict minerals: columbite – tantalite ('coltan') ores. SGA News 23:6–14.

¹¹ [] REVISTA MINERA DE VENEZUELA. Ciudad Guayana, Estado Bolívar. Venezuela 7 de Julio de 2010

¹² [] MUSTAPHA, A. Occupational radiation exposure of artisans mining columbite- tantalite in the eastern Democratic Republic of Congo. Journal of Radiological Protection. 25 of may of 2007.

¹³ [] POZAS, P. Voces del Planeta. Pag 119. Madrid, España. 2009.

¹⁴ [] Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas. Pag 78-82, 2000.

¹⁵ [] REVISTA SEMANA. Bogotá, Colombia Noviembre 21 de 2009

¹⁶ [] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, "Informe trimestral del PIB minero de Colombia". Abril de 2011. Sitio web <http://www.minminas.gov.co>

¹⁷ [] MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. <http://www.minminas.gov.co>

- ¹⁸] BARTELS, A; LINNER R. L., Solubility of manganotantalite and manganocolumbite in pegmatitic melts. Am Mineral 95: 537- 544, 2010
- ¹⁹] BILLMEYER, F. Ciencia de los polímeros. Editorial reverté. Barcelona, España. 2004.
- ²⁰] ESTEVE, V. Publicaciones de la Universitat Jaume I. El método de Rietveld. Castellón de la plana, España. 2006.
- ²¹] KITTEL, Ch. Introducción a la física del Estado Solido. Editorial Reverté. Barcelona, España. Reimpresión 2003.
- ²²] HERNANDEZ, H; ESPEJO, E. Mecánica de Fractura y análisis de falla. Editorial El Malpensante. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. 2002
- ²³] RAHAMAN M. N. Ceramic Processing and Sintering, Department of ceramic Engineering. University of Missouri-Rolla, 1995
- ²⁴] GOODHEW, P. J.; HUMPHREYS, F. J. **Electron Microscopy and analysis**. London: Taylos & Fracis, 1988.
- ²⁵] GIANNINI, C; ROANI, R. Dizionario del Restauro e della diagnostica. Nardini Editore. Italia. 2003
- ²⁶] SORESCU, M. Journal of materials Education. Universidad Autónoma del estado de México: university of Texas. Vol 25. Toluca, México. 2003.PARRAS J. Mineralogía y propiedades Cerámicas. Universidad de Castilla. Castilla. España. 1998
- ²⁷] PARRAS J. Mineralogía y propiedades Cerámicas. Universidad de Castilla. Castilla. España. 1998