

La microscopía Raman Confocal como apoyo a la actividad minera

The microscopy Raman Confocal like support to the mining activity



<https://cu-id.com/2144/v15e05>

Carlos Alfredo Toledo Sánchez*, Miladys Aróstegui Aguirre, Ileana Cabrera Díaz, Giselle Valdivia García

RESUMEN: La actividad minera comienza con la prospección de minerales de interés económico y culmina con la obtención de los productos finales y la valoración y minimización del impacto ambiental. El trabajo recoge la forma en que la Microscopía Raman Confocal (MRC) está apoyando esta actividad, partiendo de la caracterización de rocas y minerales del terreno, abarcando tanto los componentes mayoritarios como minoritarios y trazas, ofreciendo resultados cualitativos y cuantitativos con rapidez y sin destruir las muestras, dando información sobre el comportamiento a esperar de los diferentes minerales en el proceso productivo, ya sea aportando elementos de interés, como favoreciendo o entorpeciendo las diferentes etapas de producción. De igual forma la MRC ha permitido caracterizar reactivos y sustancias que se utilizan en la industria minera, para valorar si cumplen con los parámetros requeridos, estudiar la marcha de las diferentes etapas del procesamiento y la posible aparición de productos indeseados. Una vez estudiados los diferentes procesos, la MRC aporta información sobre los productos finales, tanto los de interés como las gangas, escombreras y colas, y la manera en que estas últimas pueden impactar el medio ambiente, introduciendo por ejemplo metales pesados o potenciales sustancias agresivas o dañinas como los asbestos. La utilización de esta técnica en la industria minera se ilustra en este trabajo principalmente en las producciones de Níquel, Oro y Cromo.

Palabras clave: Microscopía Raman Confocal, minería.

ABSTRACT: The mining activity begins with minerals prospecting and it finishes with the obtaining of the final products and the evaluation and remediation of the environmental damage. It is consider the way in wish the Confocal Raman Microscopy (CRM) is helping the mining activity, allowing rocks and minerals characterization, according their content from major to trace components, supplying qualitative and quantitative results quickly and not destructively. The CRM is giving information about the potential behavior of the different minerals in process, sometimes supplying essential elements but in other cases complicating the process. This technique has been used also in characterizing substances and reagents in use in mining labors in order to determine if they are according the required specifications and also if there are unwanted substances in the final products. The CRM is also providing information about the way in which different wastes could damage the environment, for example releasing heavy metals or other dangerous products like asbestos. The use of this technique is illustrated mainly in the Nickel, Gold and Chrome productions.

Keywords: Confocal Raman Microscopy, mining.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la Microscopía Raman Confocal (MRC) ha ganado un espacio significativo entre las técnicas analíticas empleadas como apoyo a las actividades mineras y geológicas, esto se debe a la rapidez con que brinda sus resultados, su confiabilidad y a la posibilidad de analizar muestras

solidas, liquidas y gaseosas sin dañarlas. A lo anterior se suma su capacidad de identificar y cuantificar varios miles de minerales, así como de brindar un mapa de la distribución de los diferentes minerales en la roca.

Entre las aéreas de aplicación de la MRC se encuentra la minería del Níquel. Es conocido que las principales fuentes de extracción del Níquel son las

Recibido: 23/01/2023

Aprobado en su forma original: 27/04/2023

Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM), Carretera Varona No. 12028, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: miladys@cipimm.minem.cu, ileana@cipimm.minem.cu, giselle@cipimm.minem.cu

*Correo electrónico: tole2@gmail.com

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores: Investigación: Carlos Alfredo Toledo Sánchez, Miladys Aróstegui Aguirre, Ileana Cabrera Díaz y Giselle Valdivia García. Redacción primera redacción: Carlos Alfredo Toledo Sánchez. Metodología: Carlos Alfredo Toledo Sánchez. Redacción - revisión y edición: Carlos Alfredo Toledo Sánchez

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

menas sulfurosas y las lateríticas (McRae, 2023). En el caso de los sulfuros su identificación en los minerales de partida es muy segura, reportándose espectros Raman muy bien definidos para sus diferentes variantes, la Figura 1 muestra los espectros de la **Pentlandita**, la **Heazlewoodita** y la **Gersdorfit** (LaFuente et al., 2015), tres de los sulfuros de Níquel de más frecuente aparición en Cuba. Respecto a las lateritas, que son las menas de mayor interés económico en nuestro país, la **MRC** permite el estudio de los principales Óxidos de Hierro y de las Serpentinatas que resultan difíciles de diferenciar mediante otras técnicas (Petriglieri et al., 2015).

Respecto a la explotación del Oro, la **MRC** posee una gama amplia de aplicaciones, entre las que se encuentra la identificación de varios minerales portadores de Oro, así como de sus indicativos y asociados (LaFuente et al., 2015 y Maftai et al., 2020). También se usa con éxito en el control de reactivos empleados en plantas de producción, un ejemplo de ello es la Cal, que interviene favoreciendo el proceso de lixiviación (Davidson and Sole, 2007). La Cal sin embargo presenta un ciclo de degradación por acción tanto del agua como de CO_2 , lo que hace necesario contar con una técnica rápida y segura para establecer en dicho reactivo los contenidos de CaO / Ca(OH) / CaCO_3 . La Figura 2 presenta el ciclo de las transformaciones de la Cal, el cual puede ser seguido mediante la espectrometría Raman.

Otras aéreas en las que ha sido aplicada exitosamente la **MRC** son las producciones de Cromo, Plomo y Zinc. En el caso del Cromo se reporta su uso en la caracterización de Cromitas, dada su elevada capacidad de detectarlas y diferenciarlas por presentar corrimientos muy fuertes y bien definidos (Naveen et al., 2019). Respecto al estudio de los concentrados ricos en Plomo y Zinc, también la espectrometría Raman juega un papel importante en la actualidad, reportándose su capacidad de diferenciar diferentes variaciones en la Esfalerita (Birgaoanu et al., 2018), así como de identificar y valorar la oxidación en el caso de la Galena (LaFuente et al., 2015 y Shapter et al., 2000).

De igual forma, la espectrometría Raman se utiliza con mucha frecuencia, dada su capacidad de analizar inclusiones sin destruir las muestras, en el estudio de gemas y otros minerales de alto valor ornamental (Lowry et al., 2009), así como en el estudio de minerales nocivos para el medio ambiente, como es el caso de los asbestos (Lahondere et al., 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras se analizaron por lo general de forma directa, aunque en algunos casos fueron incluidas en resinas y luego pulidas, tanto para facilitar su análisis como evitando contaminaciones y alteraciones

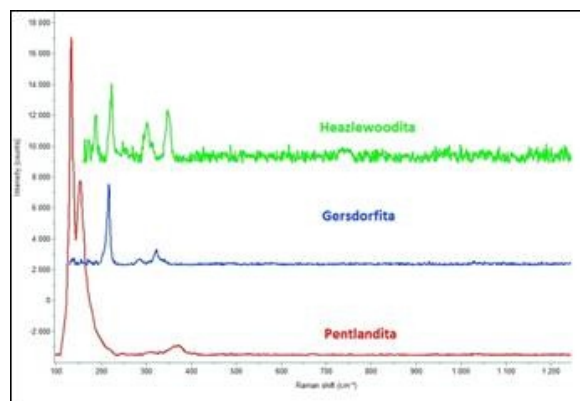


Figura 1. Espectros de la Pentlandita, Heazlewoodita y Gersdorfit, tres sulfuros de Níquel de frecuente aparición en Cuba

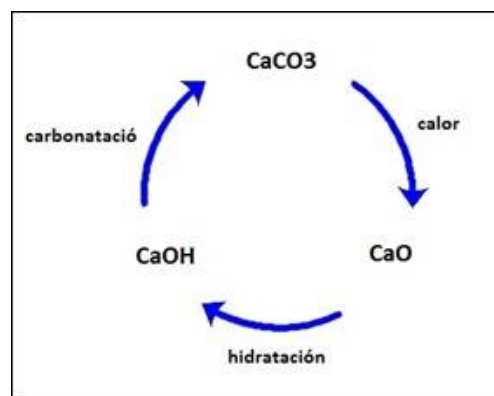


Figura 2. Ciclo de las transformaciones de la Cal.

superficiales. En algunos casos, por tratarse de partículas, estas fueron previamente fijadas en cinta adhesiva de doble capa, con el objetivo de evitar su pérdida así como para favorecer su ulterior localización en el equipo.

Para la realización de los análisis se empleó un Micro Espectrómetro Raman Confocal de la firma francesa Horiba. Las imágenes y espectros se obtuvieron mediante el empleo de un microscopio marca **OLYMPUS**, modelo **BX-43** y un espectrómetro modelo **XploRa PLUS**, se trabajó bajo las condiciones siguientes:

La microscopía	
Objetivos	5x, 10x, 20x, 50x y 100x
Iluminación	Luz Incidente
Tipo de luz	Natural
La espectrometría	
Red	1200 líneas/mm
Filtro	25% y 100%
Rendija	100 μm
Orificio confocal	300 μm
LASER	532 nm y 785 nm
Rango de trabajo	60-1800 cm^{-1}
Tiempo de adquisición	2s
Número de acumulaciones	2

Las imágenes y espectros de Microscopía Raman Confocal se procesaron mediante el software **LabSpec 6**. Para las identificaciones de fases se utilizó la información acumulada durante años con el uso de esta técnica sobre la base de materiales conocidos, información suministrada por la **IMA** y los espectros de referencia del **Proyecto RRUFF**, de acceso libre en **INTERNET**.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha realizado el estudio de las lateritas del país con vistas a definir la asociación del Níquel con los diferentes minerales que las componen, lo que ha obligado a realizar un estudio mineralógico preliminar de las muestras. El Microscopio Raman ha permitido en estos casos diferenciar los tipos de Óxidos de Hierro y de Serpentininas para luego, mediante Microscopía Electrónica, determinar la asociación del Níquel a cada uno de ellos. La **Figura 3** ilustra la identificación de un Óxido de Hierro como **Hematita**, así como de una Serpentina como **Lizardita**, en una de las muestras estudiadas.

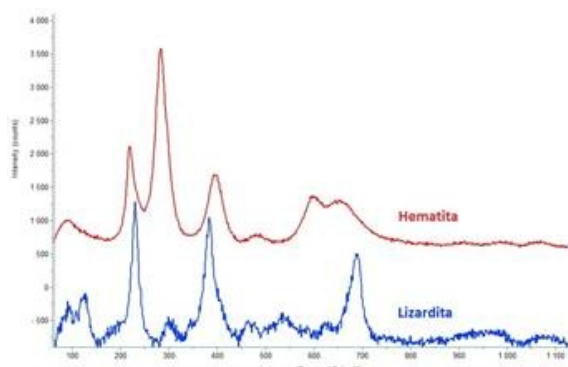


Figura 3. Identificación **Hematita** y **Lizardita** en una muestra de **Laterita de Moa**

Respecto a la minería del Oro, la **MRC** se ha utilizado por nuestra parte tanto en la identificación de minerales portadores de dicho metal, como en estudios de la Cal empleada en su producción. La **Figura 4** muestra la identificación del mineral **Krennerita**, que es un telururo portador de Oro y que está asociado en este caso al **Cuarzo**. Respecto a la Cal, el equipo no solo ha permitido la identificación de las fases que la forman, sino que es una herramienta excelente a la hora de diferenciar los diferentes carbonatos. La **Figura 5** ilustra la diferenciación de tres carbonatos que se han estudiado, la **Calcita**, la **Dolomita** y la **Siderita**, mediante esta espectrometría.

También los minerales de Cromo han sido estudiados con fines prospectivos, la **Figura 6** muestra el estudio de una **Cromita** en asociación con **Antigorita** en una muestra mineral proveniente de la provincia de Villa Clara.

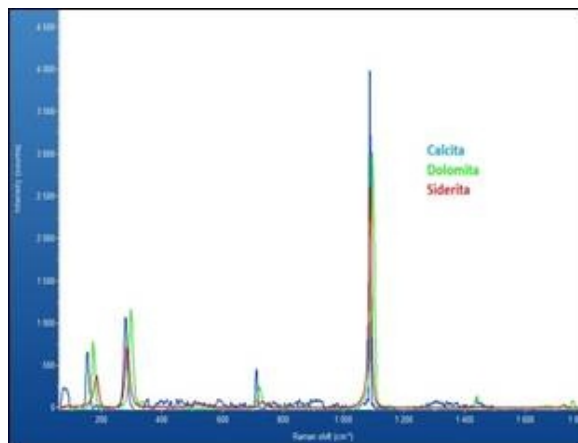


Figura 5. Diferenciación de **Calcita**, **Dolomita** y **Siderita**, mediante espectrometría Raman

Otros tipos de minerales estudiados han sido los portadores de Tierras Raras. Se ha tratado en muchos casos de partículas escasas y dispersas por lo que la capacidad del equipo de analizar muestras microscópicas ha sido decisiva para la obtención de resultados. La **Figura 7** ilustra la identificación de una **Monacita** mediante el empleo del Microscopio Raman Confocal.

Numerosos minerales cubanos asociados a diferentes producciones e investigaciones han sido objeto de análisis mediante la Microscopía Raman Confocal en nuestro Centro. En la **Figura 8** se presentan, a modo de ejemplo la identificación de otros minerales que se han estudiado, tal es el caso de la **Clinoptilolita** que es una Zeolita, del **Crisotilo** que es un asbesto, de la **Cubanita** que es un mineral portador de Cobre, de una Turmalina como la **Dravita**, de una **Jadeita** piedra que puede llegar a muy altos precios, de la **Brookita** portadora de Titanio y de una **Caolinita** que es una arcilla con múltiples usos en la Industria.

Respecto a la cuantificación de minerales, la **Figura 9** ilustra un trabajo de este tipo realizado a partir de rocas de una zona oriental del país, donde fueron cuantificados los contenidos de Omfacita, Chamosita, Titanita y Albita.

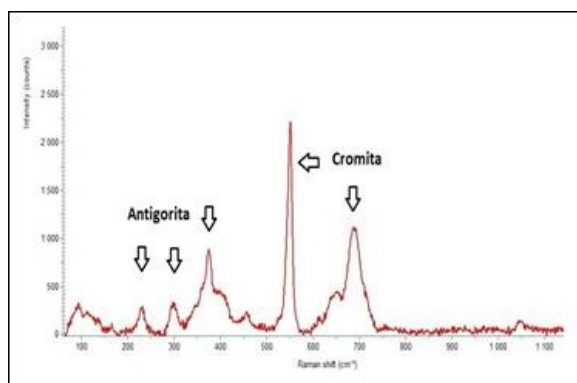


Figura 6. **Cromita** en asociación con **Antigorita** en una muestra proveniente de Villa Clara

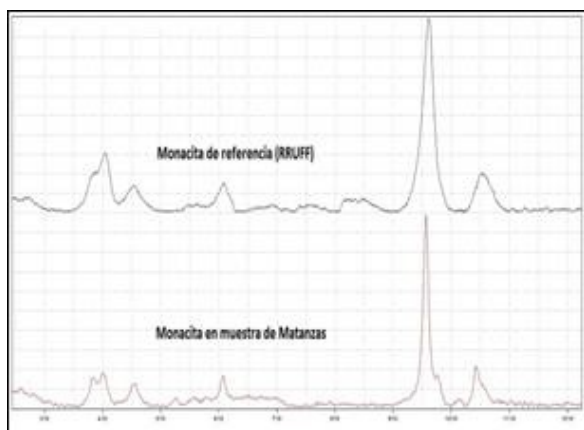


Figura 7. Identificación de Monacita de Matanzas mediante MRC

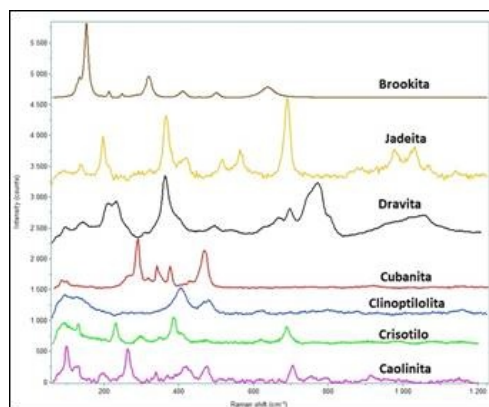


Figura 8. Identificación de Clinoptilolita, Crisotilo, Cubanita, Dravita, Jadeita, Brookita y Caolinita mediante MRC

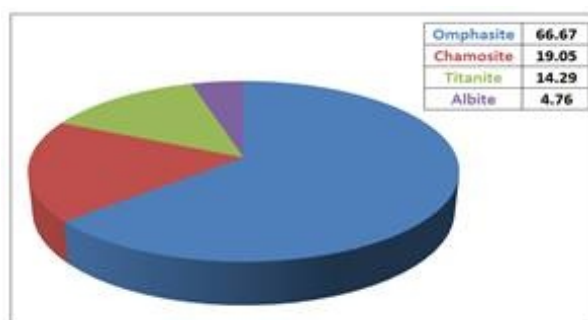


Figura 9. Cuantificación de Omfacita, Chamosita, Titanita y Albita en rocas del Oriente de Cuba

En términos generales, se ha utilizado la espectrometría Raman tanto en el estudio de minerales de partida como de contaminantes, productos intermedios y finales, sustancias empleadas en producciones mineras y finalmente en desechos como colas y escombreras, lo que da una idea de la utilidad de esta técnica en una amplia gama de actividades asociadas a la minería y la geología.

CONCLUSIONES

El Microscopio Raman Confocal, por la rapidez con la que brinda los resultados, su carácter no destructivo y la capacidad de identificar y cuantificar varios miles de minerales, resulta una herramienta de suma utilidad en el estudio de minerales asociados a las producciones de Níquel, Oro y Cromo.

El empleo de esta técnica no se limita a las producciones antes citadas, ya que también se ha utilizado en el análisis de Zeolitas, Carbonatos, Sulfuros, Arcillas, Asbestos y otros materiales de interés minero y geológico.

BIBLIOGRAFÍA

- Birgaoanu, D., Buzzatu, A. & Damian, G. 2018. The Fe content in the sphalerites from the breiner-băiut deposit. Rom. J. Mineral Deposits, 91, (1-2): 37-42.
- Davidson R J & Sole M. J. 2007. The major role played by calcium in gold plant circuits. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 107: 463-468.
- LaFuente B., R. T. Downs, H. Yang & N. Stone 2015. The RRUFF project. Available: <<http://www.rruff.info>>, [Consulted: January 12, 23].
- Lohondere D, Cagnard, F. Wille, G. & Duron, J. 2019. Naturally occurring asbestos in an alpine ophiolitic complex (northern Corsica, France). Environmental Earth Sciences 78(17).
- Lowry S, D. Wieboldt, D. Dalrymple, Jasinevicius, R. & Downs R. T. 2009. The Use of a Raman Spectral Database of Minerals for the Rapid Verification of Semiprecious Gemstones. Spectroscopy 24(4) 1-7.
- Maftai A E, A. Bazatu, G. Damian, N. Buzgar, H. G. Dill & Apopei, A. I. 2020. Micro-Raman-A Tool for the Heavy Mineral Analysis of Gold Placer-Type Deposits, Minerals, 10:988.
- McRae, M. 2023, Nickel Statistics and Information, Available: <<http://www.usgs.gov>>, [Consulted: January 9, 23].
- Naveen P, S. Sarkar, T. N. Kumar, D. Ray, S. Bhattacharya, A. D. Shukla, H. Moitra, A. Dagar, P. Chauhan, K. Sen & Das S. 2019. Planetary & Space Science: 165, 1-9.
- Petriglieri J R, E. Salvioli-Mariani, L. Mantovani & Tribaudino M. 2015. Micro-Raman mapping of the polymorphs of serpentine, J. Raman Spectrosc, 46: 953-958.
- Shapter J G, M. H. Brooker & Skinner, W. M. 2000. Observation of the oxidation of galena using Raman spectroscopy. International Journal of Mineral Processing, 60, (3-4): 199-211.