

# Medida Multiespectral de la Reflectancia Especular para la Identificación Automatizada de Menas: Base de Datos del Sistema AMCO

Úrsula Grunwald-Romera (\*), Juan-Carlos Catalina, David Alarcón, Paulo Romero, Alfredo López-Benito, Ricardo Castroviejo

Laboratorio de Microscopía Aplicada y Análisis de Imagen. Universidad Politécnica de Madrid, 28003, Madrid (España)  
\* corresponding author: ursulagrund@gmail.com

**Palabras Clave:** Microscopía de menas, Mineralogía automatizada, Geometalurgia, Reflectancia multiespectral | **Key Words:** Ore microscopy, Automated mineralogy, Geometallurgy, Multispectral reflectance

## INTRODUCCIÓN

Se presenta en este trabajo la base de datos de reflectancias multiespectrales elaborada para su aplicación a la identificación automatizada de menas metálicas por el sistema **AMCO** (Automated Microscopic Characterization of Ores), desarrollado por el proyecto I+D+i financiado por EIT RawMaterials (Proyecto EIT no. 15039 / H2020) y descrito en otra comunicación también presentada a SEM-2019.

## CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Un elemento fundamental del sistema AMCO es la base de datos multiespectral (**BDM**), que recoge medidas de la reflectancia especular de los minerales en cada una de las bandas capturadas por el sistema. Dichas bandas cubren el rango de la luz visible y el infrarrojo cercano, entre 400 y 1000 nm (VNIR), e incluyen una banda adicional en el ultravioleta cercano (370 nm). La muestra se coloca en una platina no rotatoria, por lo que la orientación de cada mineral es aleatoria, lo cual obliga a trabajar con luz no polarizada, reduciendo en gran medida el efecto de la birreflectancia. Sin embargo, hay minerales con un pleocroísmo tan marcado, como la covellina, que es imposible evitar totalmente sus efectos.

La base de datos ha sido construida con muestras seleccionadas de las colecciones de investigación del Laboratorio de Microscopía Aplicada (**LMA**, ETSI Minas y Energía, UPM) y otras aportaciones. La selección de minerales se realizó teniendo en cuenta su frecuencia y su interés industrial, dado que sólo una pequeña proporción de las menas metálicas conocidas reúnen estas condiciones.

En primer lugar, se realizó un estudio microscópico de control para identificar las menas metálicas, garantizar la idoneidad de las secciones pulidas (limpieza, calidad de pulido y textura) y seleccionar los campos adecuados

para la medida. De un total de 589 muestras potencialmente interesantes estudiadas, finalmente se eligieron 133 para construir la base de datos de AMCO. Sobre ellas se midieron un total de 74 minerales, en su mayoría menas metálicas, entre los que se encuentran especies de gran abundancia, como la pirita o la galena y otras poco representadas en los manuales clásicos de mineralogía, como la monacita.

El procedimiento seguido para la realización de las medidas consta de dos etapas: primero se adquiere una serie de imágenes multiespectrales de reflectancia especular de diversos campos de una sección pulida con el sistema AMCO (Catalina et al., 2019), y luego se emplea el programa *amcoAnalysis* para delimitar sobre dichas imágenes las zonas de mineral cuyos valores se desea incorporar a la base de datos. La figura 2 muestra las curvas promedio de una selección de 40 menas.

La BDM se ha validado con referencias externas (Criddle and Stanley, 1993; base de datos precursora CAMEVA: Castroviejo et al., 2009) (Figura 1) y por análisis estadísticos, aplicando los métodos usuales para discriminación espectral, de los cuales la distancia de Mahalanobis y el Análisis Discriminante Lineal alcanzan tasas de acierto superiores al 99% (López-Benito et al., 2019).

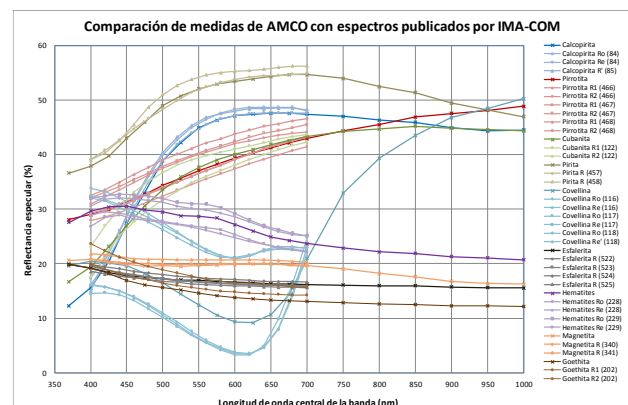


Fig 1. Comparación de medidas de AMCO con medidas de QDF3.

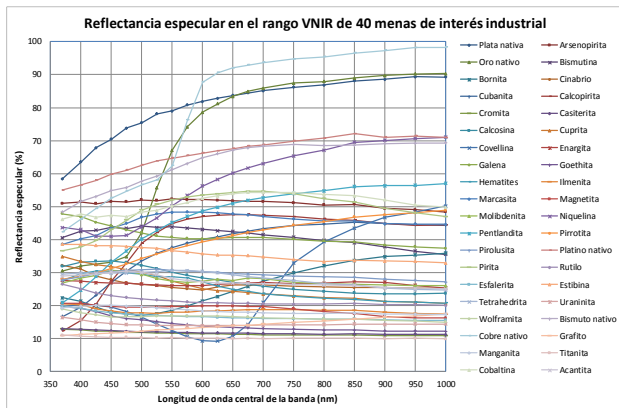


Fig 2. Valores promedio de reflectancia especular en el rango VNIR de una selección de 40 menas de interés industrial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor parte de los resultados coinciden con los esperados y permiten una identificación automatizada muy fiable, por ejemplo, para calcopirita. Sin embargo, a veces aparecen pátinas de alteración, unas a largo plazo, como en la mencionada calcopirita, y otras a muy corto plazo, como en la bornita, que apenas se mantiene fresca unas horas. Estas pátinas desarrolladas tan rápidamente pueden ser un problema, que se ha resuelto agregando a la base de datos entradas suplementarias para el mineral con pátina. Algo parecido ocurre con las reflexiones internas, que incrementan los valores de las medidas, lo que es particularmente notable en la ganga, pero también en minerales como la esfalerita o huebnerita.

Una limitación de las medidas de reflectancia especular es la similitud espectral del cuarzo y, en general, otros minerales de ganga y la resina epoxi. El problema de su diferenciación se ha resuelto con tinciones de la resina (Grunwald-Romera et al., 2019). Un problema parecido lo plantean ciertos minerales como el par cromita-casiterita, o wolframita-esfalerita, discutido por López-Benito et al. (2019). En otros casos, como el de los arseniuros blancos, se está investigando la discriminación recurriendo a la medida de otros rangos espectrales (Infrarrojo de Onda Corta, SWIR: 1000-1600 nm).

Otra fuente de variaciones es la existencia de mineraloides, como la melnicovita, la limonita o la psilomelana. Estos son términos no admitidos por IMA/COM, pero que designan sustancias de interés industrial, por lo que es indispensable su caracterización, si se aspira a un sistema aplicable por la industria. En estos y otros casos, la variedad composicional y textural da lugar a variaciones en el valor de la reflectancia. La estrategia puesta a punto en la BDM de AMCO es su concepción flexible, para poder introducir datos nuevos.

Así, se tiene una herramienta abierta en la que cada mina, planta de procesamiento o usuario puede ampliar la BDM con sus propias muestras o variantes, adaptando el sistema a las particularidades locales, mediante la introducción de nuevas medidas. De esta forma, se subsanan las carencias que una base de datos general, y

por lo tanto más académica, pueda tener en yacimientos concretos. No debe olvidarse, por ejemplo, la dependencia de la reflectancia especular en relación con la composición, en menas como la serie tetraedrita-tenantita, Ag-Au, cromita (López-Benito et al., 2017), etc.

## CONCLUSIONES

La BDM ofrece una información representativa y reproducible de la reflectancia especular de las menas metálicas consideradas. Se trata de una herramienta, validada y de fácil uso, útil para la identificación automatizada de menas metálicas y como apoyo a la docencia universitaria de microscopía de menas.

Para facilitar su aplicación general, se ha concebido con una estructura abierta a las potenciales aportaciones del usuario.

Por otra parte, es también una herramienta abierta a desarrollos futuros con la incorporación de nuevos tramos espectrales (SWIR, en desarrollo).

## REFERENCIAS

- Castroviejo, R., Brea, C., Pérez-Barnuevo, L., Catalina, J.C., Segundo, F., Bernhardt, H.J., Pirard, E. (2009): Using computer vision for microscopic identification of ores with reflected light: preliminary results. Proc. 10th biennial SGA Meet. Vol. 2. Townsville, Australia, Williams et al., eds. 682-684. ISSN: 9780980558685.
- Catalina, J.C. y Castroviejo, R. (2017): Microscopía de Reflectancia Multiespectral: Aplicación al Reconocimiento Automatizado de Menas Metálicas. Revista de Metalurgia. **53-4**, 1-20. DOI: 10.3989/revmetalm.107.
- Criddle, A.J. and Stanley, C.J., eds. (1993): Quantitative Data File for Ore Minerals, 3rd edition. Chapman & Hall, London, 635 p.
- Grunwald-Romera, U., Catalina, J., Alarcón, D., López-Benito, A., Castroviejo, R. (2019): A reliable method for the automated distinction of quartz gangue and epoxy resin with reflected light microscopy and its application to digital image analysis (in press), in: Proceedings of the 15th SGA Biennial Meeting. Glasgow, Scotland (27-30 August 2019).
- López-Benito, A., Gervilla, F., Catalina, J.C., Castroviejo, R. (2017): Chromite typology and composition characterized through multispectral specular reflectance. Ore Geology Reviews **89**, 132-142.
- López-Benito, A., Catalina, J.C., Alarcón, D., Grunwald-Romera, U., Romero, P., Castroviejo, R. (2019): Automated ore microscopy based on multispectral measurements of specular reflectance. I - A comparative study of some supervised classification techniques. Ore Geology Reviews (subm.).



EIT RawMaterials is supported by the EIT, a body of the European Union