

Identificación Automatizada de Minerales de Mena con Microscopio de Reflexión: Uso de Imágenes Multiespectrales

/ CAROLINA BREA (1*), RICARDO CASTROVIEJO (1), JUAN C. CATALINA (2), FERNANDO SEGUNDO(2)

(1) Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Minas, c/Ríos Rosas, 21, 28003_Madrid (España)
2) AITEMIN, c/Margarita Salas, 14, Parque Leganés Tecnológico, 28918_Leganés (Madrid, España)

INTRODUCCIÓN.

Se ha desarrollado un sistema capaz de caracterizar las menas metálicas por sus propiedades de reflexión para lograr su reconocimiento automatizado sobre probetas pulidas. Establecida la proporcionalidad entre los valores de reflectancia característicos de las menas y los niveles de gris en imagen digital (Berrezueta y Castroviejo, 2007), se usan ahora medidas multiespectrales.

El sistema diseñado permite: (i) adquirir imágenes multiespectrales y medir las correspondientes reflectancias, una vez calibrado el equipo; (ii) la identificación automática de la especie mineral por comparación entre los valores medidos y los conocidos de cada mineral, almacenados en una base de datos.

La creación de una base de datos fiable de las principales menas es, pues, una tarea crucial. Los valores de reflectancia obtenidos en la primera fase son validados, para cada especie mineral, con la base de datos QDF3 del IMA-COM (Criddle & Stanley, 1993) y con los medidos en un microscopio de reflexión espectral de diseño específico para el proyecto.

Cada especie es caracterizada por una curva en el rango visible e infrarrojo cercano (VIRC: 400 a 1000 nm), la cual servirá de referencia para el desarrollo de un programa de identificación del tipo búsqueda y comparación.

INSTRUMENTACIÓN.

Para la obtención de las imágenes multiespectrales se ha incorporado a un microscopio Leica DM6000M sin polarizador, una rueda de filtros intercalada entre la fuente luminosa y el estativo, dotada de 13 filtros que permiten medir por separado los

correspondientes tramos del espectro (13 tramos de 50 nm; entre 400 y 1000 nm); el objetivo utilizado es 20 aumentos (20x).

Las imágenes son obtenidas mediante una cámara digital Basler sCA1400-17FM con una resolución de 1392 x 1040 píxeles y tiempo de integración programable.

Para validar y controlar los resultados, se contrastaron las medidas con un microfotómetro de reflexión espectral diseñado por el Dr. H.-J. Bernhardt (Universidad de Bochum, Alemania). Este equipo está compuesto por un microscopio Leitz Orthoplan al que se le ha incorporado un espectrómetro Hamamatsu C10083CA capaz de realizar medidas en el rango de longitudes de onda entre 400 y 1000 nm, con una resolución espectral de 0,3 nm.

PROCESO EXPERIMENTAL.

Materiales y Métodos.

Un aspecto fundamental en este trabajo ha sido la selección de los campos minerales a medir, debido a que los resultados obtenidos dependen en gran parte de su calidad de pulido, tamaño de grano y pureza.

Las muestras empleadas corresponden a distintas colecciones de referencia disponibles en la Escuela de Minas de la UPM, previamente estudiadas para lograr una selección rigurosa de las menas y controlar la calidad del pulido.

El uso de luz polarizada es fundamental en la identificación de minerales mediante microscopía de menas tradicional (Criddle, 1998). Sin embargo, un sistema automatizado la anisotropía supone un grave problema por la imposibilidad de controlar la orientación

de los granos minerales. Por tal motivo, en este sistema no se utiliza luz polarizada, pero tal y como cabe esperar los datos obtenidos se encuentran comprendidos entre los valores extremos de R del QDF3 (medidos con polarizador).

A pesar de que los minerales comunes pueden ser estudiados mediante imágenes en color capturadas con una cámara de vídeo 3CCD (Berrezueta & Castroviejo, 2007), el empleo de una cámara blanco y negro (B/N) combinada con un conjunto de filtros monocromadores permite obtener mejor precisión y capacidad de diagnóstico (Pirard, 2004).

Medición de los Campos Seleccionados.

Una vez identificados los campos minerales considerados como óptimos para ser medidos, se procedió a la adquisición de datos con el microfotómetro de reflexión espectral. De este modo, se obtuvo una comprobación certera de cada mineral antes de pasar a la adquisición de las imágenes.

La adquisición de las imágenes se realizó mediante el programa "Toma" (AITEMIN) especialmente desarrollado para este proyecto. Con este programa se puede localizar y enfocar manualmente el sector seleccionado. La adquisición se realiza de forma automática de modo que el programa controla para cada filtro el tiempo de exposición de la cámara y la distancia focal necesaria (Catalina et al., 2008).

Los paquetes de imágenes son analizados con el programa "Análisis", (AITEMIN). En este programa se pueden señalar los sectores de los campos minerales que se quiere medir. Una vez señalado el sector que se desea medir, el programa muestra instantáneamente

palabras clave: identificación automatizada de menas, Análisis de imagen, Reflectancia multiespectral, Base de datos (VNIR).

key words: Automated ore identification, Image analysis, Multispectral Reflectance, (VNIR) Data Base.

la curva de reflectancia del mineral indicado.

Creación de una Base de Datos.

El programa de identificación desarrollado ha permitido ensayar diferentes técnicas de clasificación, tales como mínima distancia euclidiana, mínima distancia de Mahalanobis, Spectral Angle Mapper y el sistema MOMI (Bernhardt, 1987). Para ello, es necesaria una base de datos de reflectancia espectral de cada mineral que sirva de referencia, y que sea suficientemente representativa de su variabilidad natural.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS.

Las curvas obtenidas fueron comparadas con las ofrecidas en las bases de datos, aunque sólo en el rango visible porque no existen curvas de referencia en el infrarrojo cercano. Es importante destacar que, aunque los valores no concuerden exactamente, la diferencia raramente supera el 3 %, y en todos los casos se observa una clara coincidencia en la forma de las curvas.

Un aspecto a tener en cuenta es que, a diferencia de las curvas de referencia, en este trabajo los datos fueron adquiridos sin polarizador. Por esta razón, los minerales isotropos pueden compararse directamente, mientras que los minerales anisotropos tendrán como resultado una curva de reflectancia de valor intermedio entre los valores extremos de R.

Además, se ha observado un notable comportamiento en algunos minerales en el rango comprendido entre 700 y 1000 nm (Brea, 2009). Llama la atención la inversión de relación de reflectancias entre algunos minerales, como son los casos de la pentlandita y la niquelina que en el infrarrojo superan las reflectancias de la pirita, marcasita y arsenopirita, ocurre lo mismo con los pares pirrotina – calcopirita, pirrotina – galena, y cubanita – galena. Por otro lado, la pirrotina y la cubanita que tienen reflectancias muy similares en el espectro visible muestran una clara diferenciación en el infrarrojo.

También se deben destacar aquellos minerales que sufren una interesante disminución de su reflectancia como ocurre con la tetraedrita, la hematites y

la magnetita; así como los minerales que sufren un drástico aumento de su reflectancia como son el caso de la covellina y la bornita.

La base de datos creada constituye una poderosa herramienta para la identificación de minerales de mena. Y, además, es una fuente inédita de valores de reflectancia más allá del espectro visible (Brea 2009). Aunque existen casos puntuales que el sistema es incapaz de resolver debido a que dos minerales pueden tener curvas espectrales muy similares (Catalina et al., 2009). Este tipo de casos puede no ser frecuente, pero indica que aunque el sistema puede identificar automáticamente, su uso debe ser supervisado por un mineralogista experto.

CONCLUSIONES.

El recurso a las medidas multiespectrales de reflectancia mediante la metodología descrita en este trabajo proporciona una herramienta eficaz, ya que permite la rápida identificación de los minerales, de forma ágil y con bajos costos (Brea, 2009). Por otro lado, la adquisición de datos digitalizados desde un principio favorece su posterior tratamiento matemático.

Otro efecto favorable de la opción por imágenes digitales es que al mismo tiempo que se realiza la medición se pueden documentar propiedades cualitativas de los minerales, como su morfología y su color. Esta última propiedad se puede observar a pesar de que las imágenes son adquiridas con una cámara B/N, ya que el programa es capaz de componer una imagen en color reconstruido que puede asemejarse casi plenamente a la imagen en color real, superando las limitaciones de las cámaras convencionales.

El sistema de identificación de minerales de mena se integra en un proyecto más ambicioso de aplicación general (Castroviejo et al., 2008), con un microscopio motorizado capaz de barrer una muestra automáticamente y adquirir imágenes realizando un autoenfoco para cada una. Con esta información, se procede al análisis digital de la imagen para cuantificar los contenidos modales de la muestra y los parámetros morfológicos de interés

industrial. De este modo, se logra incrementar la cantidad de medidas en un tiempo mucho menor que cuando se utilizan métodos manuales (Coz et al., 2003; Perez-Barnuevo et al, 2008)

AGRADECIMIENTOS.

Proyecto CAMEVA (Caracterización Automatizada de Menas Metálicas mediante Visión Artificial: CGL2006 13688 CO2 01); Ayuda de Comunidad de Madrid al Lab. Microscopía Aplicada (Red Madri+D, rla207). Se agradece el apoyo de: profs. E. Pirard, Univ. Lieja Bélgica, y H.-J. Bernhardt, Ruhr-Universitaet Bochum (Alemania).

REFERENCIAS.

- Bernhardt, H.-J. (1987): A simple, fully automated system for ore mineral identification. *Min. Petrol.*, **36**, 241-245.
- Berrezuela, E., Castroviejo, R. (2007): Reconocimiento automatizado de menas metálicas mediante análisis de imagen: un apoyo al proceso mineralúrgico. I: Ensayo metodológico. *Rev. Met.* **43** (4), 294-309.
- Brea, C. (2009): Aplicación del análisis multiespectral al reconocimiento automatizado de menas con microscopio de reflexión. Tesis de Maestría, Máster oficial Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales. UPM (ETSI de Minas).
- Castroviejo, R., Catalina, J.-C., Bernhardt, H.-J., Espí, J.A.; Pirard, E., Samper, J., Brea, C., Segundo, F., Locutura, J., Pérez-Barnuevo, L., Sánchez, L., Fidalgo, A. (2008): Caracterización y cuantificación automatizadas de menas metálicas mediante visión artificial: Proyecto CAMEVA. *Proc. Simp. Min. Aplic. a la Geomet.*, abs. R8, XIII Cong. Latinoam. de Geol., Lima, 29-sept. - 3-oct. de 2008.
- Catalina, J.-C., Segundo, F., Fernández, G., Alarcón, D. (2008): Aplicación de la visión artificial al desarrollo de sistemas de análisis microscópico automatizado. *Proc. Simp. Min. Aplic. a la Geomet.*, abs. R3, XIII Cong. Latinoam. de Geol., Lima, 29-sept. - 3-oct. de 2008.
- Catalina, J.-C.; Segundo, F. Brea, C.; Pérez-Barnuevo, L.; Samper, J.; Espí, J.-A., Sánchez, L. y Castroviejo, R. (2009): Aplicación del análisis multiespectral para el reconocimiento automatizado de menas metálicas. *Geogaceta* **46** (en prensa).
- Criddle, A., Stanley, C. (1993): *Quantitative Data File for Ore Minerals*. 3rd edition. Chapman & Hall, British Museum, London.
- Criddle, A. (1998): *Ore microscopy and photometry (1890 - 1998)*, in *Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy, Short Course Series vol. 27* (eds.: Cabri & Vaughan). MAC: Ottawa.
- Pirard, E. (2004): *Multispectral imaging of ore minerals in optical microscopy*. *Min. Mag.* **68** (2), 323-333.