

LOS MINERALES COMO RECURSOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SU APROVECHAMIENTO

Clasificación de los Minerales y Métodos más Utilizados para su Estudio

Guía de estudio

LOS MINERALES COMO RECURSOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SU APROVECHAMIENTO

MINERALOGÍA

LA MINERALOGÍA COMO CIENCIA

Objeto de estudio: *los minerales*

Concepto de mineral: un compuesto químico inorgánico natural de una composición química más o menos definida, sólido, cristalino (con estructura interna ordenada de sus partículas componentes), con propiedades físicas propias (color, dureza, clivaje, densidad, propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas, electromagnéticas, radiactivas, mecánicas, etc.) Originados a partir de procesos geológicos endógenos y exógenos.

¿Qué le interesa conocer de los minerales?

- ❖ Génesis
- ❖ Asociaciones naturales con otros minerales (paragénesis)
- ❖ Depósitos minerales con los que se asocia
- ❖ Distribución en la naturaleza
- ❖ Composición química
- ❖ Cristalinidad
- ❖ Propiedades físicas
- ❖ Utilización e importancia económica
- ❖ Procedimientos para su aprovechamiento como recursos naturales

Concepto de Mineral: un compuesto químico inorgánico natural de una composición química más o menos definida, sólido, cristalino (con estructura interna ordenada de sus partículas y componentes), con propiedades físicas propias (color, dureza, clivaje, densidad, propiedades ópticas, eléctricas, magnéticas, electromagnéticas, radiactivas, mecánicas, etc.). Originados a partir de procesos geológicos endógenos y exógenos.

Aspectos para Tener en Cuenta para la Clasificación de los Minerales:

- ❑ Génesis (tomando en cuenta los procesos que los originan).
- ❑ Asociación con determinados objetos geológicos (rocas, menas y otras materias primas minerales).
- ❑ Composición química.
- ❑ Propiedades físicas.
- ❑ Estructura cristalina.
- ❑ Utilización industrial e importancia económica.

Clasificación Genética:

- Magmáticos
- Metamórficos
- Sedimentarios
- Hidrotermales
- Metasomáticos
- De meteorización
- De otras génesis

Por su Asociación con los Objetos Geológicos:

- ❖ Formadores de rocas.
- ❖ Formadores de menas y materias primas minerales no metálicas.

Por su Composición Química:

- ✓ Elementos nativos metálicos y no metálicos.
- ✓ Óxidos e hidróxidos.
- ✓ Halogenuros.
- ✓ Carbonatos.
- ✓ Sulfatos.
- ✓ Fosfatos.
- ✓ Arseniatos, vanadatos, cromatos, etc.
- ✓ Sulfuros y sulfosales.
- ✓ Silicatos.

Propiedades Físicas:

- ❖ Minerales técnicos (ópticos, piezoeléctricos, semiconductores, abrasivos, cerámicos, refractarios, lubricantes, etc.).
- ❖ Gemas o piedras preciosas.

Por su Utilización Industrial e Importancia Económica:

Esta clasificación depende de la industria que requieren los minerales como materia prima para la obtención de metales o con otros fines.

- Ferrosos
- No ferrosos
- De metales base
- Nobles
- Radiactivos
- Críticos
- Estratégicos
- Otro

Métodos Analíticos de Mayor Importancia para el Estudio de los**Minerales**

- Microscopía óptica
- Difracción de rayos x
- Fluorescencia de rayos x
- Microscopía electrónica y microsonda electrónica
- Icp-ms en sus diferentes variantes

Otras Técnicas Analíticas Instrumentales

Dentro de este conjunto de métodos los más importante desde el punto de vista de los estudios mineralógicos se destacan la mineralogía óptica, difracción de rayos x y los métodos relacionado con la microsonda electrónica (microscopía electrónica).

Especial atención durante el presente curso se le prestará a la microscopía óptica, a la que se les dedicar las tres últimas unidades, al tiempo que la difracción de rayos x, y la microscopía electrónica se tratarán solo con carácter informativo.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X:

En un laboratorio se lleva a cabo la identificación y semicuantificación de compuestos cristalinos en una gran diversidad de materiales: metales, cerámicos, polímeros, intermetálicos, minerales u otros compuestos orgánicos e inorgánicos. La difracción de rayos X es una técnica analítica muy importante también utilizada en la caracterización mineralógica de muestras naturales, ofertándose los siguientes servicios:

- Cuantificación de las fases cristalinas presentes en el cemento.
- Determinación del grado de corrosión mediante la identificación y cuantificación de los óxidos incrustados en un metal o en una aleación.

- Identificación de la presencia de hidratos y polimorfos de los ingredientes activos en un medicamento.
- Cuantificación de la cantidad de fase amorfa presente en un material sólido, a través del método de refinamiento de Rietveld.

Se comercializan una gran diversidad de marcas de difractómetros de rayos x, pero en principio todos son iguales y permiten resolver las mismas tareas. A continuación, se ofrecen los datos de una marca en particular:

Difractómetro de Rayos-X Panalytical Empyrean:

- ❖ Fuente de rayos X de Cu ($K\alpha = 1.5405 \text{ \AA}$).
- ❖ Sistema PreFix de pre-alineado.
- ❖ Rejillas Soller de 0.04 rad.
- ❖ Rejillas de divergencia programables.
- ❖ Detector ultra-rápido X'Ceerator basado en tecnología multipaso en tiempo real.
- ❖ Goniómetro con configuración Bragg-Bretano.
- ❖ Estación de trabajo para muestras sólidas.
- ❖ Estación de trabajo para películas delgadas (Haz Rasante).
- ❖ Estación de trabajo para medición por transmisión.
- ❖ Colimador de haz difractado de 0.18° .
- ❖ Espejo de enfoque de Cu.

Elementos de Análisis con Empleo de una Microsonda Electrónica

(epma):

¿Qué es una microsonda electrónica?

Una microsonda electrónica es un instrumento utilizado principalmente para el análisis químico no destructivo in situ de muestras sólidas muy pequeñas. Es fundamentalmente lo mismo que un SEM, con la capacidad adicional de poder realizar determinaciones químicas. La importancia principal de un EPMA es la capacidad de hacer análisis cuantitativos y precisos de elementos químicos en cuerpos tan pequeños que pudieran considerarse puntuales, de 1 a 2 micrones, principalmente mediante espectroscopía de dispersión de longitud de onda (WDS). La escala espacial de análisis, combinada con la capacidad de crear imágenes detalladas de la muestra, permite analizar materiales geológicos in situ y determinar variaciones químicas complejas en una fase mineral dada.

La óptica electrónica de un SEM o EPMA permite obtener imágenes de resolución mucho más alta que las que se pueden ver con la óptica de luz visible, por lo que las características que son irresolubles con un microscopio óptico se pueden obtener fácilmente para estudiar micro-texturas detalladas o proporcionar el contexto a escala muy pequeña de un análisis puntual individual. Se puede utilizar conjuntamente con determinados detectores para la resolución de las siguientes tareas:

- ❖ Obtención de imágenes a partir de electrones secundarios (microscopia electrónica de barrido).
- ❖ Imágenes de electrones retrodispersados (BSE).
- ❖ Imágenes de catodoluminiscencia (CL).
- ❖ Obtener mapas de distribución de elementos en 2D.
- ❖ Obtener información sobre la composición química mediante espectroscopía de energía dispersiva (EDS) y espectroscopía de dispersión de longitud de onda (WDS).
- ❖ Determinar las orientaciones preferenciales de la red cristalina (EBSD).

Principios Fundamentales de la Microsonda Electrónica

Una microsonda electrónica funciona bajo el principio de que, si un material sólido es bombardeado por un haz de electrones enfocado y acelerado, el haz de electrones incidente tiene suficiente energía para liberar tanto materia como energía de la muestra. Estas interacciones electrón-muestra liberan principalmente calor, pero también producen electrones derivados y rayos X. El interés más común en el análisis de materiales geológicos son los electrones secundarios y retro-dispersados, que son útiles para obtener imágenes de una superficie u obtener una composición promedio del material. La generación de rayos X se produce por colisiones inelásticas de

los electrones incidentes con los electrones de las capas internas de los átomos de la muestra; cuando un electrón de capa interna es expulsado de su órbita, dejando una vacante, un electrón de capa superior cae en esta vacante y debe arrojar algo de energía (como rayos X) para hacerlo. Estos rayos X cuantificados son característicos del elemento. El análisis de EPMA se considera "no destructivo"; es decir, los rayos X generados por interacciones de electrones no conducen a la pérdida de volumen de la muestra, por lo que es posible volver a analizar los mismos materiales más de una vez.

Componentes de una Microsonda Electrónica y sus Principios de Funcionamiento

Una microsonda electrónica consta de cuatro componentes principales, de arriba a abajo:

- Una fuente de electrones, comúnmente un cátodo de filamento de W denominado "pistola".
- Una serie de lentes electromagnéticas ubicadas en la columna del instrumento, que se utilizan para condensar y enfocar el haz de electrones que emana de la fuente; esta comprende la óptica electrónica y funciona de forma análoga a la óptica luminosa.

- Una cámara de muestra, con platina de muestra móvil (X-Y-Z), que está al vacío para evitar que las moléculas de gas y vapor interfieran con el haz de electrones en su camino hacia la muestra, con un microscopio óptico que permite la observación óptica directa de la muestra.
- Varios detectores dispuestos alrededor de la cámara de muestras que se utilizan para recolectar rayos X y electrones emitidos por la muestra.

La Disposición Típica en un Equipo de Laboratorio de Microsonda Electrónica es la Siguiete:

- ❖ Una columna vertical de haz de electrones.
- ❖ Una serie de detectores colocados alrededor del bloque de la cámara de muestras.
- ❖ Un bloqueador de vacío de entrada de muestras.
- ❖ Una consola para controlar las condiciones de funcionamiento.
- ❖ Pantallas para ver las interfaces de control y la salida de muestras.
- ❖ Computadoras para control y la adquisición de dato.

Aplicaciones de la Microscopía Electrónica

- ✓ El análisis EPMA cuantitativo es el método más utilizado para el análisis químico de materiales geológicos de pequeñas dimensiones.

- ✓ En la mayoría de los casos, EPMA se elige en los casos en que es necesario analizar fases individuales (p. Ej., Minerales ígneos y metamórficos).
- ✓ Cuando el material es de tamaño pequeño o valioso por otras razones (p. Ej., productos de trabajos experimentales, cemento sedimentario, vidrio volcánico, matriz de un meteorito, artefactos arqueológicos como esmaltes de cerámica y herramientas).
- ✓ En algunos casos, es posible determinar una edad U-Th de un mineral como la monacita sin medir las relaciones isotópicas.
- ✓ EPMA también se usa ampliamente para el análisis de materiales sintéticos como obleas ópticas, películas delgadas, microcircuitos, semiconductores y cerámicas superconductoras.

Fortalezas

- Una sonda de electrones es esencialmente el mismo instrumento que un SEM, pero se diferencia en que está equipada con una gama de espectrómetros de cristal que permiten el análisis químico cuantitativo (WDS) con alta sensibilidad.
- Una microsonda electrónica es la herramienta principal para el análisis químico de materiales sólidos a escalas espaciales pequeñas (tan

pequeñas como 1-2 micrones de diámetro); por lo tanto, el usuario puede analizar incluso fases individuales diminutas (por ejemplo, minerales) en un material (por ejemplo, roca) con análisis "puntuales".

- Los análisis químicos puntuales se pueden obtener in situ, lo que permite al usuario detectar incluso pequeñas variaciones de composición dentro del contexto de textura o dentro de materiales divididos en zonas químicas.
- Las microsondas electrónicas suelen tener una serie de detectores de imágenes (SEI, BSE y CL) que permiten al investigador generar imágenes de la superficie y las estructuras de composición internas que ayudan a los análisis.

Limitaciones

- ❑ Aunque las sondas de electrones tienen la capacidad de analizar casi todos los elementos, no pueden detectar los elementos más ligeros (H, He y Li); como resultado, por ejemplo, el "agua" en los minerales hidratados no se puede analizar.
- ❑ Algunos elementos generan rayos X con posiciones de pico superpuestas (tanto por energía como por longitud de onda) que deben separarse.

- ❑ Los análisis de microsonda se informan como óxidos de elementos, no como cationes; por lo tanto, las proporciones de cationes y las fórmulas minerales deben recalcularse siguiendo las reglas estequiométricas.
- ❑ El análisis de sonda tampoco puede distinguir entre los diferentes estados de valencia del Fe, por lo que la relación férrica/ferroso no se puede determinar y debe evaluarse mediante otras técnicas (ver Mossbauer).

Guía del usuario para la recogida y preparación de muestras (esta guía es semejante a la recomendada para la realización de láminas delgadas para su estudio por mineralogía óptica y a la preparación de probetas para minerografía).

A diferencia de un SEM, que puede dar imágenes de objetos 3D, el análisis de materiales sólidos por EPMA requiere la preparación de secciones planas y pulidas. Aquí se proporciona un breve protocolo:

Se puede analizar casi cualquier material sólido.

En la mayoría de los casos, las muestras se preparan como secciones rectangulares de tamaño estándar de 27 x 46 mm o en discos redondos de 1 pulgada.

Las secciones rectangulares de roca o materiales similares se preparan con mayor frecuencia como secciones de 30 micrones de espesor sin cubreobjetos.

Alternativamente, se pueden pulir núcleos de 1 pulgada.

Las virutas o los granos se pueden montar en discos de resina epóxido y luego se pueden pulir a la mitad para exponer una sección transversal del material.

Referencias:

- Benavente; Martínez, J; Pla, C; Cuevs, F; Muñoz, M; Cañaveras, J; Ordóñez, s.
- Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el Grado en Geología. Recuperado a partir de:
<https://web.ua.es/va/ice/jornadas-redes-2016/documentos/tema-2/806990.pdf>
- Carles, J; Proneza, J; Galí, S; Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/bsgm/v62n1/v62n1a2.pdf>
- Geology. La clasificación completa de minerales. Recuperado a partir de:
<http://www.geologyin.com/2014/12/the-complete-classification-of-minerals.html>
- Mindat. Org. La mineralogía del hierro. Recuperado a partir de:
<https://www.mindat.org/element/Iron>
- Mineral Museum Beirut. Recuperado a partir de:
<https://www.mim.museum/classifications>
- Principales industrias que emplean minerales técnicos o industriales.
Recuperado a partir de:
ClassificationofindustrialmineralsKompatibilittsmodus.pdf