

LA LUZ NATURAL Y SU TRANSFORMACIÓN EN LUZ POLARIZADA

Propiedades que se pueden estudiar con el empleo de luz polarizada plana (cuando el microscopio se encuentra en régimen de trabajo conoscopio y sin el analizador insertado).

El estudiante debe conocer que durante el estudio de los minerales con ayuda del microscopio petrográfico determinadas propiedades se determinan con el microscopio en régimen de trabajo ortoscópico en dos variantes:

1. Sin el analizador insertado (con luz polarizada plana). También se entiende como “nicos paralelos”.
2. Con analizador (con luz polarizada cruzada). También se entiende como “nicos cruzados”.

En el régimen conoscopico se trabaja con luz polarizada cruzada y se inserta la lente de Amici-Bertrand y también la lente condensadora.

El estudiante podrá conocer todo lo relacionado con los regímenes de trabajo del microscopio mediante su estudio previo en el libro de texto recomendado: GUÍA PARA LA MICROSCOPIA DE MINERALES EN LÁMINAS DELGADAS (Página 13 a la 15, en énfasis en la figura 1.7) Para acceder a la guía, revisa el siguiente enlace:

http://www.minsocam.org/msa/openaccess_publications/Thin_Sctn_Mcrscopy_2_rdc_d_spn.pdf

Estudio de los Minerales en Láminas Delgadas Mediante Luz Transmitida.

La microscopía de luz polarizada (transmitida) emplea un microscopio compuesto, equipado con una platina giratoria y filtros Polaroid para iluminar una muestra con luz polarizada. Es una técnica de microscopía óptica de gran utilidad, que resuelve un alto porcentaje de problemas analíticos. Este curso web presenta una descripción general muy rápida de las propiedades básicas de la luz que se utilizan para recopilar características que se pueden utilizar para identificar partículas, y se concentra en **índices de refracción, extinción, birrefringencia, tamaño / morfología** y estudiar someramente las **figuras de interferencia**.

Es prácticamente imposible cubrir todo el alcance de la microscopía de luz polarizada en un breve curso web. En cambio, nuestro propósito es brindar un vistazo rápido para ayudarlo a comprender cómo la microscopía de luz polarizada puede ayudarlo en su profesión.

¿Qué es la microscopía de luz polarizada?

La microscopía de luz polarizada emplea un microscopio compuesto equipado con una platina giratoria y filtros polaroid para iluminar una muestra con luz polarizada transmitida. Es una técnica de microscopía óptica de gran utilidad, que resuelve un alto porcentaje de problemas analíticos.

Una lista parcial de las propiedades de partículas individuales tan pequeñas como unos pocos micrómetros que se pueden determinar con microscopios de luz polarizada incluiría:

- Tamaño
- Densidad de color
- Textura de la superficie
- Índices de refracción
- Pleocroísmo
- Transparencia
- Capacidad
- Hábito cristalino
- Sistema cristalino y ángulos interfaciales

En esencia, el microscopio de luz polarizada será en lo fundamental un microscopio de luz compuesto común, al que se le agrega una platina que gira con relación a un polarizador, un analizador y compensadores (componentes fijos, que no rotan en relación con la platina).

La microscopía de luz polarizada proporciona una gran cantidad de información sobre las partículas, tanto conocidas como desconocidas. Hay aproximadamente 14 características diferentes que se pueden observar usando microscopía de luz polarizada.

La luz, o luz visible, es radiación electromagnética dentro del rango del espectro electromagnético que se puede percibir por el ojo humano.

Las propiedades principales de la luz visible son:

- Intensidad
- Propagación
- Dirección
- Frecuencia o espectro de longitud de onda
- Polarización

Su velocidad en el vacío, aproximadamente 300.000 metros por segundo, es una de las constantes fundamentales de la naturaleza.

Los rayos de luz tienden a viajar en línea recta hasta que golpean algo, lo que vamos a aprovechar. Un rayo de luz se considera tanto materia como energía.

La luz viaja como una onda transversal sinusoidal. Las ondas de luz consisten de un campo eléctrico variable, junto con un campo magnético variable, mutuamente perpendiculares entre sí y a la dirección del recorrido de las ondas. Aprovechar estas propiedades nos permite utilizar luz polarizada para recopilar datos a medida que viaja a través de estructuras cristalinas o transparentes. Cuando la luz se encuentra con la materia, puede interactuar y lo hará de muchas maneras. Puede reflejarse en el objeto. Puede atravesar la sustancia, lo que se denomina transmisión. Puede doblarse al pasar a través de la materia, lo que se denomina refracción, o puede ser absorbida. A los efectos del estudio de los minerales se le presta especial atención a la **transmisión** y a la **refracción**.

La imagen de una partícula se ve afectada por la estructura química, la morfología y las propiedades de la luz. Un haz de luz, compuesto de rayos de luz que se distribuyen infinitamente, se llama luz no polarizada. Un haz de luz compuesto por rayos que viajan paralelos entre sí está polarizado.

Cuando dos piezas de película polarizadora (polaroides) se orientan en ángulo recto entre sí o se cruzan, todos los rayos de luz se bloquean, lo que da como resultado un campo negro.

Si se coloca una partícula o material cristalino transparente entre el polarizador y el analizador (entre los dos polaroides cruzados) se produce **refracción**, **birrefringencia**, **extinción** y una **figura de interferencia**. Estos fenómenos forman la base del análisis de partículas o minerales con luz polarizada. Polarizador, analizador, campo oscuro e introducción de una estructura cristalina, proporciona todas estas propiedades que podemos observar.

Morfología y Tamaño

La morfología y el tamaño de una partícula tienen un impacto significativo en su apariencia cuando se observa con microscopios de luz polarizante. La forma determina el comportamiento.

Forma y Comportamiento

La ciencia se refiere a la relación directa entre la estructura de la materia y cómo esta se comporta. Conocer la forma o la morfología puede revelar información sobre cómo se comporta algo.

Conocer la estructura de una partícula permite a los científicos predecir cómo interactuará con otras sustancias; a la inversa, saber cómo interactúa una partícula con otras sustancias, en este caso, la luz polarizada, proporciona información sobre cuál es la estructura.

Por ejemplo, la sal común (NaCl) es un cristal isométrico (cúbico) conocido naturalmente como halita: todos los ejes tienen la misma longitud y son perpendiculares entre sí. Por lo tanto, la **halita** tiene un índice de refracción único y la luz que atraviesa el cristal no se altera. Debido a que la luz que pasa a través de cristales isométricos permanece sin cambios, no exhibe propiedades notables o características más que estar infinitamente extinta, o negra, bajo los polaroides (polarizadores, nicoles) cruzados. A modo de comparación, la pirita (disulfuro de hierro) no es transparente, pero sin duda es cúbica, se utiliza como ejemplo para reforzar la idea de que cuando se habla de morfología y estructuras cristalinas, en realidad se está hablando de la unidad celular, que es una estructura microscópica. Entonces, un cristal gran cristal cúbico de halita se puede triturar y moler hasta granos muy pequeños, de tal modo que pueden no verse en forma de cubos, pero las unidades celulares o moléculas que lo componen son cubos isométricos.

Ahora tomemos como referencia al cuarzo, que cristaliza en el sistema hexagonal.

El sistema hexagonal tiene cuatro ejes cristalográficos que consisten en tres ejes horizontales (o equiláteros) iguales a 220 grados entre sí, así como un eje vertical, que es perpendicular a los otros tres.

Este eje vertical puede ser más largo o más corto que los ejes horizontales. El cuarzo tiene dos índices de refracción y la luz que lo atraviesa se refracta, lo que da como resultado una birrefringencia. Si se toma un pequeño cristal de cuarzo y se aumenta en 200 veces, agregando luego un compensador en luz polarizada cruzada se podrá observar la birrefringencia. Esto da como resultado muchas características notables cuando se observa bajo luz polarizada cruzada. Una vez más, tenga en cuenta que la morfología o forma se refiere a la unidad celular, no necesariamente a la pequeña partícula que estamos viendo.

Cuando la luz atraviesa una sustancia o la interfaz entre dos medios diferentes, se dobla. La comprensión de la morfología de las partículas proporciona información sobre otras propiedades y puede utilizarse para delimitar todas las posibles opciones a confirmar.

Refracción e Índice o Índices de Refracción

Cuando la luz atraviesa una sustancia o la interface entre dos medios diferentes, se dobla. A esto se le llama refracción. La magnitud de refracción depende del ángulo en el que pasa la luz entre los diferentes medios y las propiedades físicas o la estructura química del propio medio.

La refracción es claramente visible en la calcita sin la ayuda de un microscopio. A medida que el rayo de luz atraviesa el cristal, se divide en dos rayos: uno atraviesa el cristal como normalmente lo espera, sin refracción. El otro se refracta y emerge por un camino diferente, que es extraordinario.

Para mejor comprensión del fenómeno, observe las tres imágenes que aparecen a continuación. Tenga presente que la calcita, al igual que los restantes carbonatos, es de los minerales con mayor doble refracción.



Figura 1. Cristal de calcita (espato de Islandia) empleado para demostrar su gran birrefringencia o doble refracción.



Figura 2. Cristal de calcita (espato de Islandia) empleado para demostrar su gran birrefringencia o doble refracción.

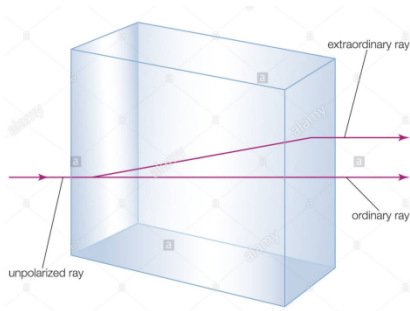


Figura 3. Cristal de calcita (espató de Islandia) descomponiendo un rayo de luz no polarizado en dos rayos, uno ordinario y otro extraordinario.

Cuando la luz pasa entre dos materiales transparentes con índices de refracción similares, el relieve del contraste es bajo en la interface entre los materiales o los bordes.

El índice de refracción es una característica importante que se utiliza para identificar partículas. Las partículas pueden tener uno, dos o tres índices de refracción según la morfología.

Por ejemplo, los cristales isométricos tienen un solo índice de refracción; los cristales tetragonales y hexagonales tienen dos; ortorrómbicos, monoclinicos y triclinicos tienen tres. Conocer estos detalles de los minerales permite hacer un mejor trabajo para identificar las diferentes partículas o minerales.

Birrefringencia

La birrefringencia es causada por el paso de la luz a través de sustancias que tienen al menos dos índices de refracción (entonces los minerales isométricos no manifiestan birrefringencia).

Los rayos de luz se dividen en sus partes componentes a medida que viajan a través de la sustancia; los rayos de luz viajan a diferentes velocidades debido a la estructura molecular de la sustancia; uno lento, uno rápido, en relación con los demás. Cuando los rayos se recombinan al salir de la sustancia, están desfasados con respecto a cuando entraron. La recombinación de este rayo fuera de fase da como resultado el color (color de interferencia o colores de interferencia) y esto es equivalente a la birrefringencia. Suponga que tiene luz no polarizada que atraviesa un cristal de calcita. A medida que atraviesa el cristal, se puede ver la luz dividida en los dos componentes que la componen, siendo así como observamos los

crisales y determinamos todas sus diferentes características. Los colores de interferencia dependen de la morfología del cristal.

La morfología, determinada por la estructura química, conjuntamente con el espesor y la orientación de las partículas respecto a la luz, o la luz a las partículas, proporciona el color o los colores de interferencia. Aquí es donde la platina giratoria resulta útil, pues permite rotar la partícula de manera precisa y suave, observándose las mismas partículas con la misma luz, pero al girar la platina y cambiar la orientación de los crisales en relación con la luz polarizada, se obtiene la imagen correspondiente a la birrefringencia, como la que se observa a continuación.



Figura 4. Colores de interferencia de un mineral birrefringente observada con luz polarizada cruzada.

La tabla de colores de interferencia de Michel Levy es una especie de clave de los colores asociados con el análisis de partículas minerales. La tabla es una ayuda valiosa que se relaciona gráficamente con el espesor, el retardo y la birrefringencia.

Teniendo en cuenta los principales índices de refracción se determina la birrefringencia, que está dada por la diferencia numérica entre estos principales índices de refracción. Estas características permiten identificar materiales desconocidos o proporcionar información óptica importante sobre los conocidos.

Por ejemplo, si se tiene una partícula con un espesor que mide aproximadamente $25,5 \mu\text{m}$ esta tendrá un color determinado que dependerá de su birrefringencia naranja de segundo orden, como puede ver en la tabla. Se puede leer el espesor en

el lado izquierdo de la tabla, eligiendo el color en el medio de la tabla, seleccionando la línea que pasa por ese lugar, luego siguiendo esa línea diagonal hasta el borde superior o el borde derecha de la tabla se obtiene la birrefringencia. Si resulta que el color observado es naranja de segundo orden, entonces podrá comprobar que su birrefringencia es 0.034, es decir, una birrefringencia moderada.

Comprender las propiedades birrefringentes de una partícula proporciona información sobre otras propiedades y puede utilizarse para delimitar o confirmar las posibles opciones.

Vea la relación entre sistema de cristalización y el carácter birrefringente de los minerales en la siguiente figura:

BIRREFRINGENCIA


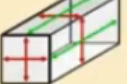
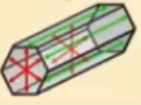
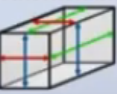
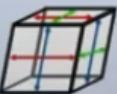
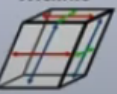
Crystal System	Birefringence
Isometric 	Isotropic
Tetragonal 	Anisotropic
Hexagonal 	Anisotropic
Orthorhombic 	Anisotropic
Monoclinic 	Anisotropic
Triclinic 	Anisotropic

Figura 5. Relación entre la birrefringencia de los minerales y sus sistema de cristalización.

Extinción

La extinción es un término que se utiliza para describir el punto en el que cualquier partícula se vuelve negra sobre un fondo negro. Desaparece o se extingue. Esto ocurre cuando las direcciones de vibración de una muestra son paralelas a las direcciones de vibración del polarizador y a la del analizador. El fenómeno se observa cuatro veces cuando las partículas giran 360° entre los polos transversales. Es decir, la misma partícula o grano mineral se extingue cuatro veces al girar la platina 360° con los nicols cruzados o con luz transmitida cruzada, resaltando los puntos en que ocurre la extinción.

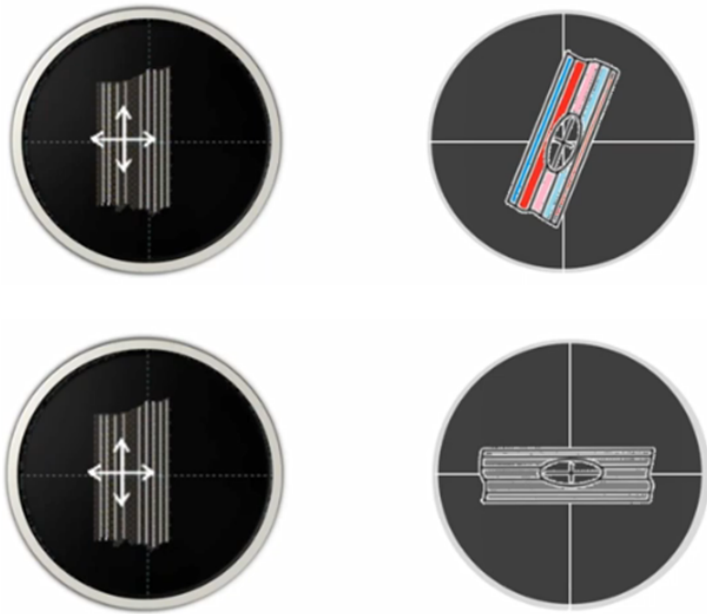


Figura 6. Extinción paralela o recta al rotar la platina 360° .

Nótese que el cristal se extingue cuatro veces. En dependencia del tipo de cristal se distinguen los siguientes tipos de extinciones:

- 1.- Recta o paralela
- 2.- Inclinada
- 3.- Simétrica

Otros Tipos de Extinciones son Anómalas y Originadas por Diferentes Causas

La extinción se caracteriza con base al ángulo en el que la partícula se extingue. Si se extingue cuando es paralelo o perpendicular al retículo, se llama extinción paralela. Puede extinguirse cuando está inclinado; eso se llamaría extinción inclinada. La extinción simétrica es la extinción inclinada que resulta ser exactamente 45° en relación con el punto de referencia. Y, finalmente, es posible que se produzca una extinción incompleta, en la que, según la estructura química o la estructura física de la sustancia que está observando, nunca se extinga realmente. Comprender las propiedades de extinción de una partícula proporciona información sobre otras propiedades y se puede utilizar para reducir o confirmar las posibles opciones.

Figuras de Interferencia

Las figuras de interferencia aparecen cuando se observa un cristal anisótropo en el plano focal posterior utilizando una lente de Bertrand. Las figuras de interferencia se logran ajustando el microscopio para que pueda observarse en el plano focal posterior. No está obteniendo imágenes de la muestra; más bien, está observando el patrón de interferencia y las bandas oscuras que son la extinción causada por el analizador y el polarizador producido por los rayos de luz al pasar a través de esos dos componentes. Suena complicado, pero en realidad no lo es. Cuando miramos las figuras de interferencia, podemos hablar de las isocromas y las isogiras y los diferentes colores.

La observación de figuras de interferencia proporciona información sobre el hábito cristalino: uniaxial o biaxial, y la longitud del eje óptico con respecto al resto de ejes; puede ser positivo o negativo.

Figura de Interferencia Isométrica: no hay ninguna. Los minerales isométricos o cúbicos siempre se encuentran extintos y permanecen negros bajo los polaroides cruzados. Las figuras de interferencia uniaxial se caracterizan por una cruz con sus colores de interferencia que se encuentran en cada uno de los cuatro cuadrantes. Las figuras de interferencia biaxial producen dos arcos parabólicos que se mueven dentro y fuera de los cuatro cuadrantes desde direcciones alternas. Y nuevamente, cada uno de estos proporciona información adicional, que se puede usar para caracterizar diferentes tipos de minerales.

Referencia:

Raith, M.; Raase, P.; & Reinhardt, J. Guía para la microscopía de minerales en lámina delgada, traducción al español.

http://www.minsocam.org/msa/openaccess_publications/Thin_Sctn_Mcrscopy_2_rdc_d_s_pn.pdf