

# CRISTALOFÍSICA

## TEMA 14

### PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS CRISTALES Y MINERALES OPACOS

**Estudio sistemático con el microscopio polarizante de reflexión**

#### ÍNDICE

Disposición ortoscópica del microscopio

14.1 Observaciones con luz polarizada plana.

14.2 Observaciones con luz polarizada y analizada

Disposición conoscópica del microscopio

14.3 Figuras de polarización

14.4 Dispersión

*Celia Marcos Pascual*

## **14.1 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES**

### **Estudio sistemático con el microscopio polarizante de reflexión**

**Disposición ortoscópica del microscopio**

**Observaciones con luz polarizada plana**

**Requerimientos**

- Objetivos de bajo aumento (2,5x) o de aumento medio (10x)

**Observaciones**

Las propiedades que pueden observarse son las siguientes:

**Color**

**Dureza y relieve**

**Exfoliación**

**Exsolución**

**Forma**

**Inclusiones**

**Maclas**

**Pleocroísmo de reflexión y birreflexión**

**Reflectancia**

**Zonado**

**Color**

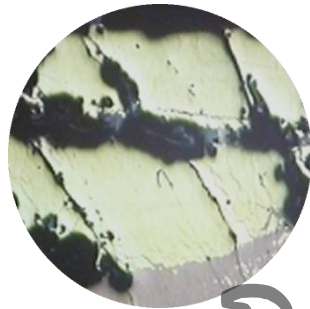
El color en reflexión bajo el microscopio es debido a la dispersión de la reflectancia con la longitud de onda, y se puede expresar cuantitativamente por medio de la curva de dispersión en el rango visible del espectro electromagnético. Varía entre gris o blanco con distintas tonalidades. El color de un determinado mineral puede parecer diferente en función de los minerales que le rodean.

Azul: covellita, digenita



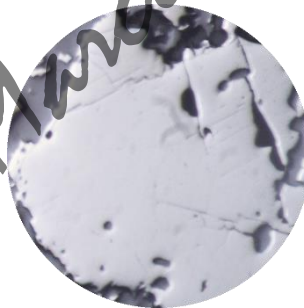
**Figura 14.1.-** Covellita (2.5x, luz polarizada)

Amarillo: oro nativo, calcopirita



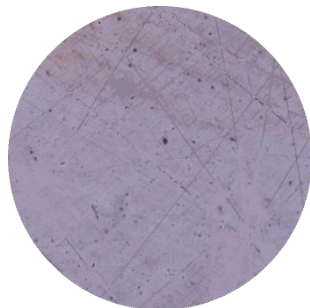
**Figura 14.2.-** Calcopirita (2.5x, luz polarizada)

Amarillo suave: pirita



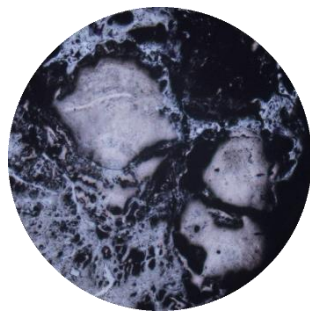
**Figura 14.3.-** Pirita (2.5x, luz polarizada)

Rojo: cobre nativo



**Figura 14.4.-** Cobre nativo (2.5x, luz polarizada)

Amarillento-anaranjado: niquelina



**Figura 14.5.- Niquelita (2.5x, luz polarizada)**

### **Dureza y relieve**

Son términos relativos, cuando dos minerales tienen dureza similar muestran límite muy débil, indicando que no hay diferencia de relieve entre ambos. Sin embargo, cuando un mineral es más duro que otro vecino, el pulido rebaja el más blando y resalta al más duro.

En la unión de un grano mineral duro y otro blando tiende a haber una especie de escalón que hace que se observe la línea brillante de Kalb.

Minerales blandos, por debajo de 2 en la escala de Mohs, adquieren un pulido suave y brillante; ejemplos: estibnita, covellita. Sin embargo, en molibdenita o grafito es difícil de quitar el aspecto granulado y mate.

Minerales con dureza media, 3-5 escala de Mohs, pulen bien y rápidamente.

Minerales duros, por encima de 5, como en magnetita, ilmenita o niquelina, adquieren un pulido suave rápidamente; mientras que en arsenopirita o wolframita se requiere más tiempo de pulido para eliminar las irregularidades de la superficie.

En general, los minerales blandos mantienen un enrejado de rayas finas hasta el final del pulido. Los minerales con dureza media generalmente muestran una superficie pulida homogénea y los minerales duros muestran las marcas del abrasivo más grueso usado en el pulido.

Las diferencias en la conducta de los minerales al pulido, a menudo hace difícil obtener una probeta bien pulida.

La **línea de Kalb** es una línea brillante que aparece en la unión entre dos minerales blando y otro más duro y permite determinar cuál es más duro y cuál más blando. Para ello Se enfoca la sección mineral se desenfoca ligeramente la sección mineral aumentando la distancia entre objetivo y sección, en dicha situación se observará a línea brillante de Kalb que se introducirá en el mineral más blando. Al disminuir la distancia entre objetivo y sección, se introducirá en el mineral más duro.

### **Exfoliación**

La exfoliación es la rotura de un cristal o mineral por determinados planos cristalinos.

A veces, si los minerales presentan varias exfoliaciones, con el pulido quedan marcas características como las de la galena, en forma de triángulo.



**Figura 14.6.-** Galena (2.5x, luz polarizada)

### **Exsolución**

Desmezcla de componentes a una determinada temperatura. El componente que está en menor proporción suele estar incluido en el que está en mayor proporción.

Se observa mejor con polarizadores cruzados (ver en siguiente capítulo).



**Figura 14.7.-** Exsolución de hematites en ilmenita (20x, luz polarizada).

### **Forma**

Es un carácter morfológico que a veces puede ser útil en el estudio de minerales opacos. Muchos minerales metálicos parecen no tener forma definida (xenomórficos). Otros se presentan con formas bien definidas, son los minerales denominados idiomórficos, suelen ser los minerales más duros o los que tienen temperatura de fusión elevada tienden a desarrollar hábitos cristalinos (idiomórficos); ciertos minerales tienen tendencia muy marcada al idiomorfismo cuando están aislados, como por ejemplo piritita y magnetita, o en grupos separados con bordes redondeados. Hay minerales que son alargados o aplanados como covellita, molibdenita o hematites. como ocurre con la

pirita, arsenopirita, magnetita, etc. Otros lo hacen con formas irregulares y se denominan alotriomórficos como esfalerita, galena, niquelita, bornita, calcopirita, calcosina. Algunos minerales formados a baja temperatura tienden a mostrar texturas coloformes (con aspecto coloidal) que consisten en agregados que se disponen en capas concéntricas, a menudo convexas o esferulíticas con aspecto parecido al del ópalo. Ejemplo: goethita, esfalerita.

Esta propiedad está relacionada con el origen del mineral, pero a veces es tan constante que es muy útil en la determinación.

### **Inclusiones**

Fases sólidas, líquidas o gaseosas atrapadas en el mineral hospedante.

Se forman antes (protogenéticas), durante (singenéticas) o después (epigenéticas) que el mineral hospedante.

### **Maclas**

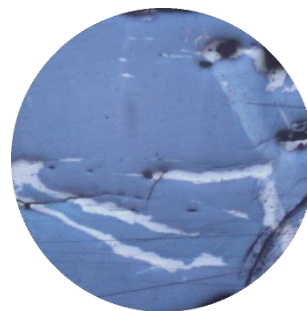
Es la asociación de dos o más individuos con diferente orientación cristalográfica.

Se observa mejor con polarizadores cruzados. Ver en siguiente capítulo.

### **Pleocroísmo de reflexión y birreflexión**

Variación del color o intensidad del color con la dirección. Se debe a la diferencia en dispersión con la longitud de onda de las reflectancias del mineral.

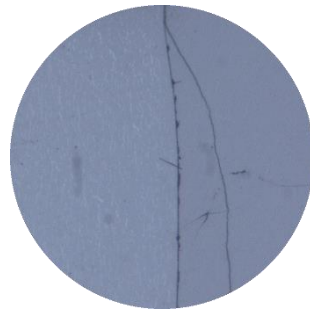
Fuente: covellita



(a) 2.5x, luz polarizada (b) 2.5x, luz polarizada y girada 90°

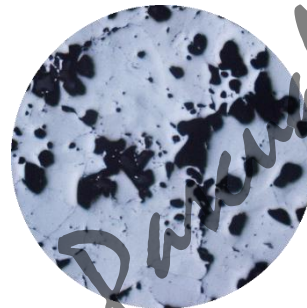
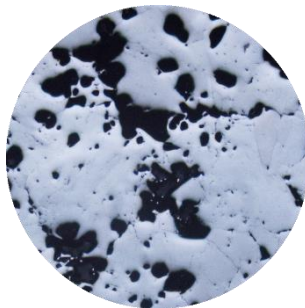
**Figura 14.8.-** Pleocroísmo en covellita

Moderada: ilmenita



**Figura 14.9.-** Pleocroísmo en ilmenita (2.5x, luz polarizada).

Débil: marcasita



(a) 2.5x, luz polarizada (b) 2.5x, luz polarizada y girada 90°

**Figura 14.10.-** Pleocroísmo en marcasita.

La **birreflexión** es el cambio de intensidad de la luz con la dirección. Es una manifestación de anisotropía. Depende de la diferencia entre las dos reflectancias. La máxima birreflexión de una sección no tiene que coincidir con la máxima del mineral. Sólo la sección vertical de un mineral uniáxico y la sección paralela a las reflectancias mayor y menor de un mineral rómbico, monoclinico o triclínico mostrarán la máxima birreflexión para el mineral en cuestión.

Cuando la birreflexión se observa bien definida en un mineral puede ser útil para relacionar las direcciones de vibración mayor y menor con características morfológicas visibles (exfoliación, maclas). Ejemplo en molibdenita

Es difícil la estimación de la birreflexión, pero pueden distinguirse tres grados:

- Birreflexión fuerte a media. fuerte como la de molibdenita, covellita, marcasita, estibnita. Media como la de ilmenita, pirrotita y niquelina.
- Birreflexión débil: Lollingita, arsenopirita, hematites.
- Birreflexión muy débil: Calcopirita.

## **Reflectancia**

Es el cociente entre la intensidad de la luz reflejada por un mineral en sección pulida y la intensidad de la luz incidente sobre él, expresada en %.

La *reflectancia* depende de:

- índice de refracción del mineral
- índice de refracción del medio en el que se encuentra
- orientación de la sección
- coeficiente de absorción ( $\kappa$ ) en el caso de que los minerales opacos.

Representa la cantidad de luz que es absorbida a medida que atraviesa sucesivas capas de espesor constante en el mineral.

La estimación por el ojo puede establecer rápidamente un orden de reflectancia en los minerales de mena de una probeta, aunque puede estar afectado por diferencias de color.

Reflectancia en luz blanca:

- muy elevada: elementos nativos como oro (72%), plata (85%), löllingita (53,5%), safflorita (53%), arsenopirita y marcasita (52%), pirita (51%)
- media a alta: stibnita (47%), galena (43%), molibdenita (42%)
- media a baja: hematites (30%), covellita (23%), digenita (22%)
- baja: ilmenita (19%), Goethita (18%)

## **Zonado**

Textura en forma de partes diferenciadas dentro de un grano mineral consecuencia de una variación composicional.

Se observa mejor con polarizadores cruzados.

## **14.2 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES**

### **Estudio sistemático con el microscopio polarizante de reflexión**

#### **Disposición ortoscópica del microscopio**

#### **Observaciones con luz polarizada y analizada**

#### **Requerimientos**

- Objetivos de bajo aumento (2,5x) o de aumento medio (10x)

- Analizador insertado y girado 90° respecto del polarizador

#### **Observaciones:**

**Isotropía - anisotropía**

**Colores de polarización**

**Exolución**

**Maclas**

**Reflexiones internas**

**Zonado**

#### **Isotropía-anisotropía**

- Minerales isótropos ópticos

Las secciones se extinguen en una rotación completa de la etapa. La extinción en reflexión no implica una oscuridad total, como ocurre con los cristales o minerales transparentes en transmisión. Una parte de la luz es transmitida por el analizador como consecuencia de la débil elipticidad producida en reflexión de tales minerales cuando la luz incidente no es totalmente perpendicular a la superficie. Sin embargo, la intensidad de dicha luz es la misma en un giro completo de la platina del microscopio.

- Minerales débilmente anisótropos

Estos minerales muestran un ligero cambio con la rotación y se puede observar mejor, si los polarizadores están ligeramente descruzados.

- Minerales fuertemente anisótropos

Muestran un cambio pronunciado de brillo y también un posible cambio de color con la rotación.

En los minerales opacos anisótropos es necesario distinguir el comportamiento de las secciones simétricas y asimétricas entre los polarizadores cruzados:

- Las secciones simétricas se extinguen con luz blanca. Cuando una sección simétrica se gira en la platina con respecto a su posición de extinción, la vibración resultante reflejada se rota y se denomina rotación anisótropa. La rotación es siempre hacia la vibración de mayor amplitud y el ángulo máximo de rotación es inferior a 45° de rotación de la platina. Se manifiesta por los colores de polarización, que cambian al girar la sección. La amplitud de la luz transmitida por el analizador es proporcional a la relación de anisotropía ( $A = R_2/R_1$ ), ya que esta relación determina el ángulo de la rotación anisotrópica.

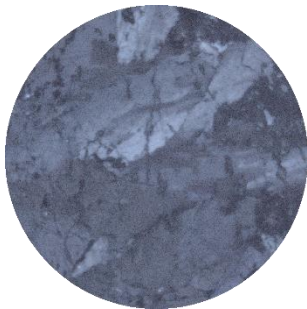
- Las secciones asimétricas no se extinguen en sentido estricto, ni siquiera con luz monocromática, debido a la marcada elipticidad de las vibraciones.

### Colores de polarización

Los colores de polarización también se conocen como tintas anisotrópicas. Las tintas brillantes indican una fuerte dispersión de la relación de anisotropía.

Ejemplos:

Löllingita



(a) (2.5x polarizadores cruzados)



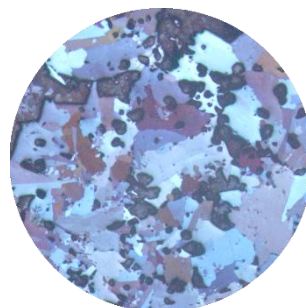
(b) (2.5x polarizadores ligeramente descruzados)

**Figure 14.11.-** Colores de polarización en löllingita.

Marcasita



(a) (2.5x polarizadores cruzados)



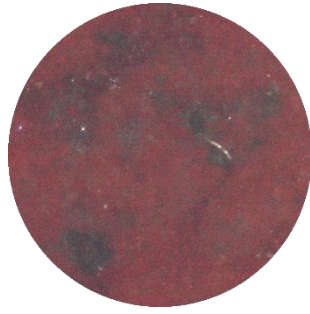
(b) (2.5x polarizadores ligeramente descruzados)

**Figure 14.12.-** Polarisation colors in marcasite.

### Reflexiones internas:

Se producen por luz reflejada desde inclusiones, fracturas, etc. del mineral, cuando éste no es totalmente opaco o es transparente. Muestran el color del mineral que tiene en muestra de mano.

Ejemplo:



**Figure 14.13.-** Reflexiones internas en cinabrio (2.5x, polarizadores).

## **14.3 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS MINERALES**

### **Estudio sistemático con el microscopio polarizante de reflexión**

#### **Disposición conoscópica del microscopio**

#### **Figuras de polarización.**

#### **Requerimientos**

- Objetivos de aumentos grandes (40x)
- Analizador insertado y girado 90° respecto del polarizador
- Lentes de Bertrand

#### **Figuras de polarización**

También llamada **figura de luz convergente** permite diferenciar entre minerales isótropos y anisótropos.

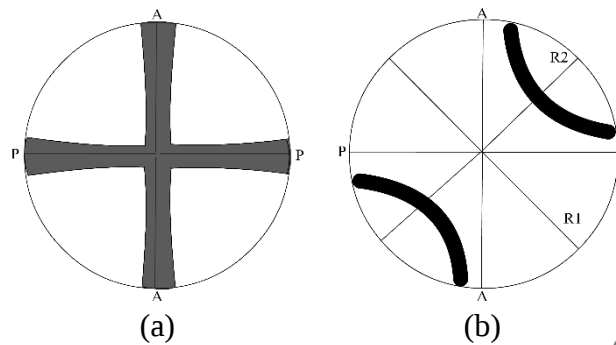
#### **Isótropos**

- La figura de los minerales isótropos es una cruz negra
  - Descruzando los polarizadores ligeramente se desdobra en dos ramas

#### **Anisótropos**

- La figura de polarización de los minerales anisótropos es una cruz que se desdobra en dos ramas (ver Figura 14.14), al girar la platina del microscopio, que se mueven en dos cuadrantes opuestos, en los cuales se encuentra la vibración con la que está asociada la reflectancia mayor.
- Entre polarizadores cruzados con la platina en posición de 45°, la separación de las isogiras indica la cantidad de anisotropía de la sección.

- La calcopirita en una sección vertical muestra las isogiras apenas abiertas y esto indica anisotropía muy pequeña.
- Entre otros minerales uniáxicos en sección vertical, la molibdenita muestra una gran anisotropía sin ningún tipo de dispersión.



**Figura 14.14.-** Figura de polarización de un cristal o mineral opaco: (a) isótropo, (b) anisótropo (Figura tomada y adaptada de Galopin & Henry (1972))<sup>1</sup>.

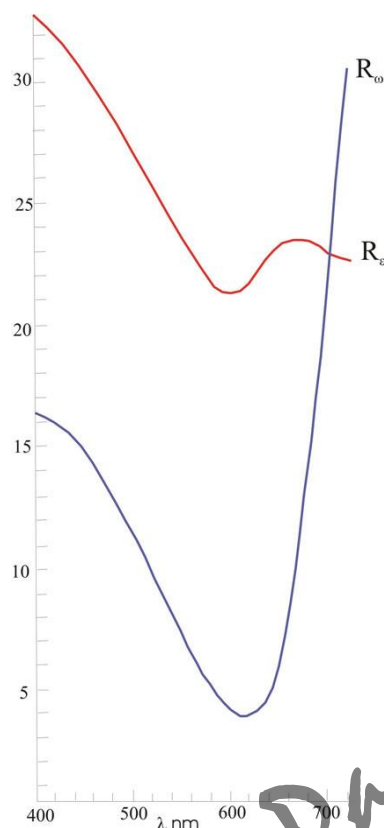
## 14.4 DISPERSIÓN

### Color y efectos de la dispersión

En muchos minerales anisótropos, la reflectancia varía considerablemente según la longitud de onda de la luz incidente, por lo que el haz reflejado tiene un color que es muy característico. Casi siempre hay una mezcla sustancial de luz blanca, siendo el resultado "un tinte metálico" como el bronce o el acero azul. Se requiere especial precaución en observar estos efectos porque la apariencia puede ser alterada engañosamente por contraste con un grano vecino de otro color o incluso por la naturaleza de la iluminación.

La dispersión de las constantes ópticas produce dispersión de la reflectancia y si su curva tiene un máximo pronunciado dentro del rango visible, entonces la sustancia aparece coloreada, es decir, el tipo de curva de dispersión y su posición en la escala de reflectancia puede definir el color de la reflexión (ver Figura 14.15).

<sup>1</sup> Galopin, R. & Henry, N.F.M. (1972). Microscopic study of opaque minerals. Heffer & Cambridge.



**Figura 14.15.-** Curvas de reflectancia para la covellita (Figura tomada y adaptada de Galopin & Henry (1972))<sup>2</sup>.

- En minerales opacos, incluso con una pequeña absorción, la dispersión de la absorción y por lo tanto de la reflectancia, produce un color marcado cuando la sustancia se observa con luz reflejada.
  - En secciones anisótropas, la reflectancia de una vibración puede dispersarse independientemente de la reflectancia de otra. Si hay una diferencia entonces se puede observar que la sección cambia de color cuando la platina es girada, sólo con polarizador; este fenómeno se denomina **pleocroísmo de reflexión**.

El color y el pleocroísmo se hacen más patentes en algunos minerales (ejemplo, la covellita) cuando se observan con aceite, debido a la gran diferencia existente entre los índices de refracción. En la covellita y para una determinada longitud de onda la  $R_o$  en aceite es mayor que en aire y el color cambia bruscamente de azul a rojo.

<sup>2</sup> Galopin, R. & Henry, N.F.M. (1972). Microscopic study of opaque minerals. Heffer & Cambridge.