

# PROCEDIMIENTOS PARA OBSERVAR PROPIEDADES FÍSICAS CON EL MICROSCOPIO POLARIZANTE DE TRANSMISIÓN

## GLOSARIO

### OBSERVACIÓN DEL COLOR Y PLEOCROISMO

*El color es la respuesta del ojo al rango visible (aproximadamente desde 350 nm hasta 700 nm) del espectro electromagnético.*

Cuando la luz visible interacciona con un cristal o mineral puede ser transmitida, reflejada, refractada, dispersada o absorbida. Si ninguna componente (longitud de onda) de la luz no sufre absorción por el cristal o mineral, éste la transmite y como consecuencia el cristal o mineral es incoloro. Cuando determinadas componentes de la luz blanca son absorbidas por el cristal o mineral, éste es coloreado y su color resulta de la combinación de las longitudes de onda de la luz blanca que no han sido absorbidas.

Una de las causas principales del color de los minerales es la *absorción selectiva*. Dicha absorción implica una transición electrónica de un electrón desde el estado fundamental al estado excitado (de energía más elevada). Cuando la energía necesaria para que el electrón transite, la absorbida, se encuentre dentro del rango de la luz visible, es eliminada de la luz incidente y como consecuencia la que observa el ojo humano es la combinación de las longitudes de onda transmitidas por el cristal o mineral.

Las transiciones electrónicas que más condicionan el color son las que afectan a los elementos de la primera serie de transición, también algunas tierras raras: neodimio y praseodimio en lantánidos y uranio en actínidos. Estos elementos se denominan cromóforos.

En la siguiente Tabla se muestran los cromóforos causa de color en algunos minerales.

MINERAL	COLOR	CROMÓFORO
Granate almandino	rojo	Fe <sup>2+</sup>
Esmeralda (berilo)	verde	Cr <sup>3+</sup> y/o V <sup>3+</sup> en coordinación octaédrica
Crisoberilo	amarillo	Fe <sup>3+</sup> en coordinación octaédrica
Circón	varios	U <sup>4+</sup>
Apatito	verde, amarillo	tierras raras (neodimio, praseodimio)
Corindón (rubí)	rojo	Cr <sup>3+</sup> en coordinación octaédrica
Corindón (zafiro)	azul	Fe <sup>2+</sup> y Ti <sup>4+</sup> en coordinación octaédrica
Sinhalita	parda	Fe <sup>2+</sup>
Olivino	verde	Fe <sup>2+</sup> en coordinación octaédrica
Espinela sintética	azul	Co <sup>2+</sup>

*La absorción puede producirse por transiciones de campo cristalino, de transferencia de carga o presencia de centros de color.*

*Cuando la absorción difiere de una dirección a otra del cristal o mineral el color cambia, denominándose a esta propiedad pleocroísmo.*

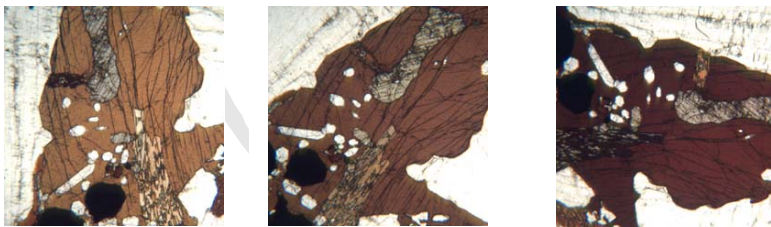
Su observación en el microscopio se lleva a cabo con:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas

*Hay que tener en cuenta que el color de un cristal o mineral con el microscopio se suele observar con luz polarizada, pudiendo variar ligeramente respecto a su observación con luz natural (luz no polarizada).*

Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Observar el color del grano o sección mineral.
- 3º) Girar 45 y 90º el grano o sección mineral y observar si ha habido cambio en el color, es decir, si presenta pleocroísmo.



Color y pleocroísmo de hornblenda (anfíbol)

## OBSERVACIÓN DEL HÁBITO

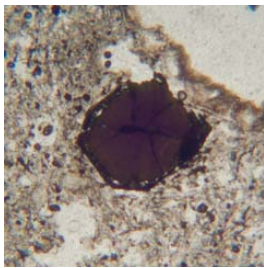
El hábito es la forma más habitual de presentarse un cristal o mineral. Puede ser prismático, acicular, tabular, laminar, etc.

Su observación se lleva a cabo con:

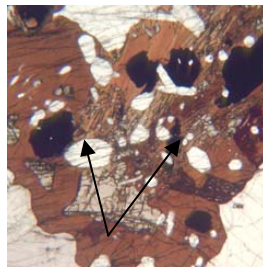
- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas

Procedimiento

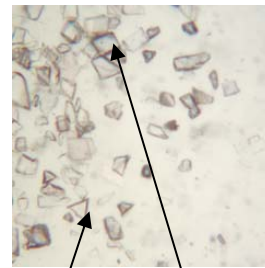
- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Observar la forma del contorno del grano o sección mineral.



granate



apatito



Fluorita Calcita

## OBSERVACIÓN DE LA EXFOLIACIÓN

La exfoliación es la rotura de un cristal o mineral por determinados planos cristalinos. Se acostumbra a denominarla por los índices de Miller del plano de exfoliación, así, la exfoliación octaédrica es la rotura según planos (111), la exfoliación romboédrica, etc. Las marcas que dejan estos planos de exfoliación cuando se corta una sección mineral perpendicular a ellos se denominan trazas de exfoliación. Las trazas que muestra la sección (110) de la Figura 1 son del mismo tipo, paralelas al plano 110, y se dice que forman un sistema de exfoliación, mientras que las trazas de exfoliación que presenta la sección (001) corresponden a dos conjuntos por lo que se dice que presenta dos sistemas de exfoliación.

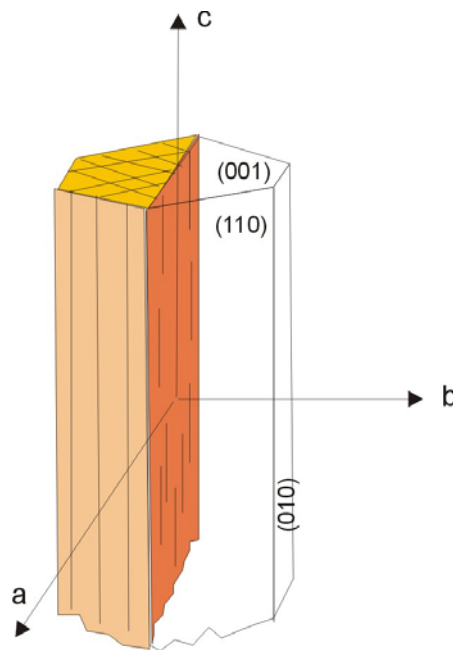


Figura 1

Su observación se lleva a cabo con:

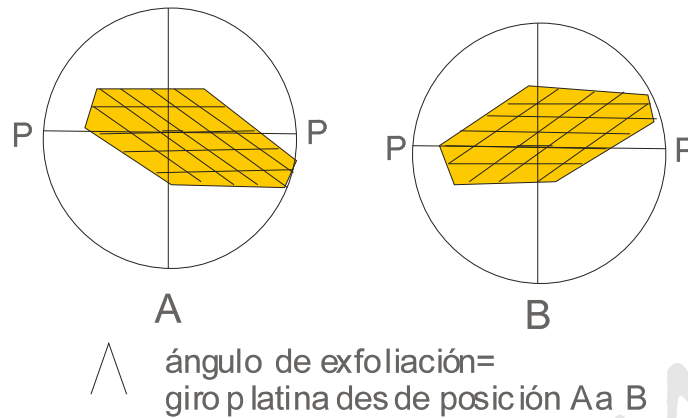
- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas

Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Observar las trazas de exfoliación que presentan el grano o granos minerales.

## ÁNGULO DE EXFOLIACIÓN

El ángulo de exfoliación es el ángulo que forman dos planos de exfoliación que se cortan. En una sección cristalina o mineral el ángulo de exfoliación es el ángulo entre las trazas de dos sistemas de exfoliación. Su valor, normalmente se considera el correspondiente al ángulo agudo, es distintivo en determinados minerales y por lo tanto útil su determinación.



Su determinación se lleva a cabo con:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas

Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Situar la traza de un plano de exfoliación de un grano o sección mineral enfocado coincidiendo con uno de los hilos del retículo, N-S o E-O, y anotar la posición de la platina.
- 3º) Girar grano o sección mineral hasta que la otra traza de exfoliación coincida con el hilo del retículo seleccionado en el apartado 2º) y anotar la posición de la platina.
- 4º) Restar los valores anotados en los apartados 2º) y 3º) para obtener el ángulo de extinción.

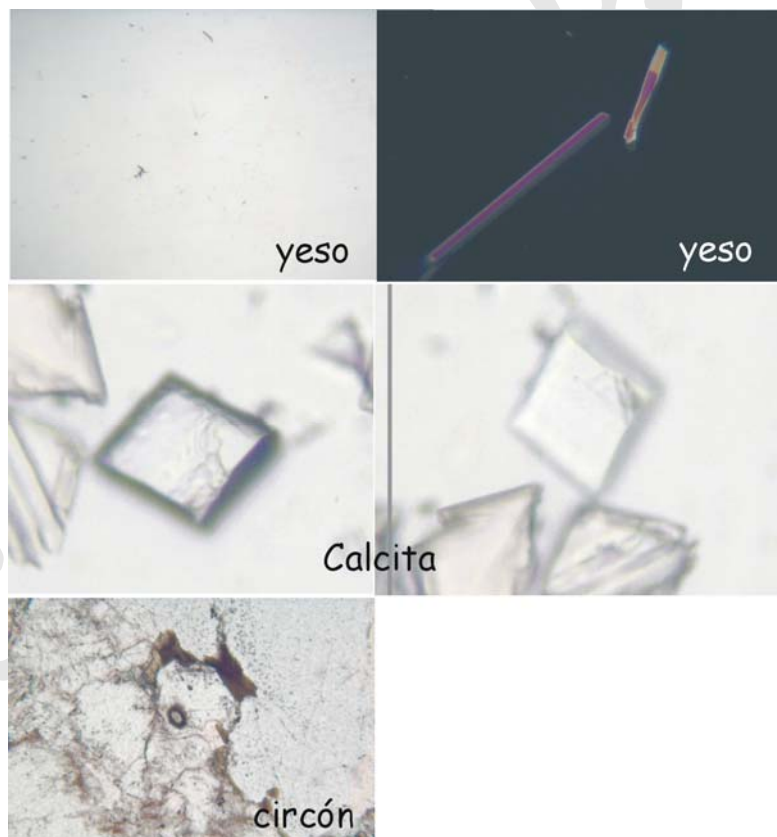
## OBSERVACIÓN DEL RELIEVE

El relieve puede definirse como la resolución del contorno de un grano o sección cristalina o mineral, debido a la diferencia entre su índice de refracción y el medio que le rodea.

En un cristal o mineral anisótropo puede apreciarse cambio de relieve con la dirección debido a que el índice de refracción varía.

En la Tabla puede apreciarse la relación entre el relieve y el índice de refracción en los ejemplos citados.

relieve	índice de refracción	ejemplo
bajo	1.50 - 1.58	yeso(1.52 – 1.53)
moderado	1.58 – 1.67	calcita (1.658 – 1.486)
alto	1.67 - 1,76	corindón (1.76 – 1.77)
muy alto	> 1.76	circón (1.90 – 2.00)



### Procedimiento

1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.

2º) Observar si el contorno del grano o sección mineral destaca poco o mucho en comparación con el medio que lo rodea.

Si el contorno se aprecia muy mal, los índices de refracción del grano o sección mineral y el medio que lo rodea son muy próximos y el relieve es bajo, como el caso del yeso. Si el contorno destaca mucho, los índices de refracción del grano o sección mineral y el medio que lo rodea son muy diferentes y el relieve es alto, como el caso del circón. Cuando el contorno no es muy pronunciado pero se aprecia bien, los índices de refracción del grano o sección mineral y el medio que lo rodea son diferentes y el relieve es moderado, como el caso de la calcita.

3º) Girar 90° el grano o sección mineral y observar si ha habido cambio en el contorno del mismo, es decir, si ha habido cambio de relieve.

*Celina Marcos P. Arce*

## TEST DE LA LÍNEA DE BECKE

El test de la línea de Becke es una prueba que permite conocer si el índice de refracción del cristal que se observa es mayor o menor que el bálamo de Canadá ( $n = 1.54$ ) o que otro cristal o mineral diferente que esté junto a él.

Para observar el test hay que utilizar:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Diafragma iris a medio cerrar
- Lentes condensadoras superiores retiradas

### Procedimiento

1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.

2º) Situar grano o sección mineral enfocado con una dirección cristalográfica u óptica que se pueda identificar coincidiendo con la dirección de vibración del polarizador (E-O).

3º) Desenfocar ligeramente el grano o sección mineral.

Si el desenfoco se lleva a cabo aumentando la distancia entre objetivo y grano o sección mineral situado sobre la platina la línea de Becke (línea brillante) se introducirá en el medio de mayor índice de refracción.

Si el desenfoco se lleva a cabo disminuyendo la distancia entre objetivo y grano o sección mineral situado sobre la platina la línea de Becke (línea brillante) se introducirá en el medio de menor índice de refracción.





## COLORES DE INTERFERENCIA

Son colores que aparecen a 45° de la posición de extinción. Cada color está asociado a un retardo ( $\lambda$  en nm). Se observan en los granos o secciones minerales anisótrpos cuando las direcciones privilegiadas de la sección o grano mineral (direcciones en las que vibran los rayos desdoblados) no coinciden con las direcciones de vibración de los polarizadores. Hay 4 posiciones distanciadas 90° en las que se observan estos colores.

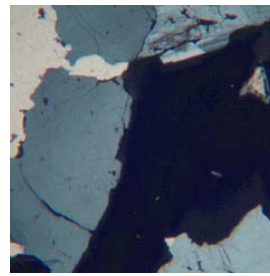
El retardo es la diferencia de trayectoria entre los rayos polarizados cuando salen de la sección o grano mineral. Es función del espesor y de la birrefringencia. A igual espesor sólo depende de la birrefringencia y a igual birrefringencia sólo depende del espesor.

### Procedimiento

- 1°) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 2°) Situar grano o sección mineral enfocado mostrando los colores de interferencia (a 45° de la posición de extinción), los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).
- 3°) Situar grano o sección mineral enfocado a 90° de la posición del apartado 2°) mostrando los colores de interferencia (a 45° de la posición de extinción), los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).



yeso



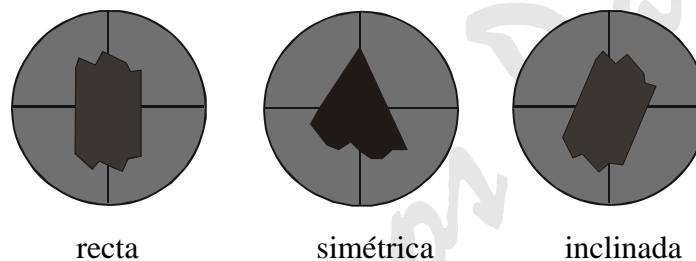
cuarzo

## EXTINCIÓN

La extinción corresponde a oscuridad en un grano o sección mineral. En el caso de un grano o sección mineral isótropo se observa porque en cualquier dirección del mismo la luz vibra en la dirección del polarizador que, al ser perpendicular a la del analizador, se anula. En el caso de un grano o sección mineral anisótropo se observa porque las direcciones privilegiadas del grano o sección mineral (direcciones de vibración de los rayos desdoblados) coinciden con las direcciones de vibración de los polarizadores. Hay 4 posiciones de extinción distanciadas 90°.

En los cristales uniáxicos la extinción es recta (cuando un borde recto o traza de exfoliación es paralela a uno de los hilos del retículo) o simétrica (cuando los granos tienen forma de rombo y las diagonales coinciden con los hilos del retículo).

En los cristales biáxicos la extinción puede ser recta, simétrica o inclinada (oblicua). La extinción inclinada u oblicua ocurre cuando una dirección cristalográfica no coincide con una dirección óptica.



### Procedimiento

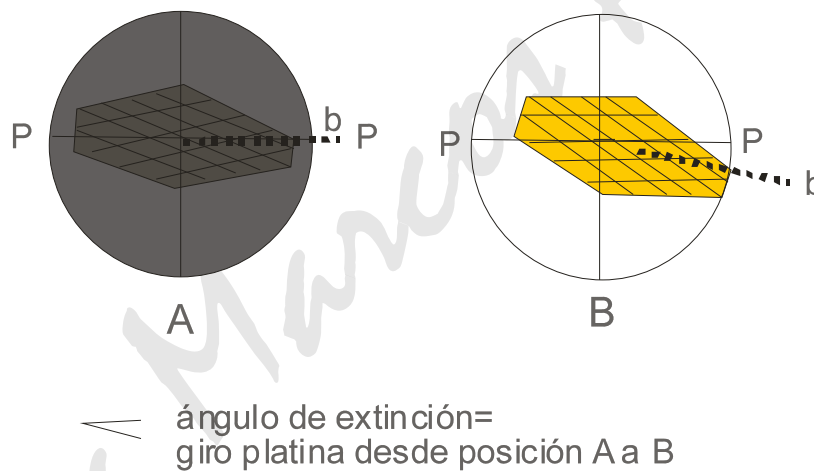
- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Situado el grano o sección mineral enfocado en extinción observar si las direcciones de vibración del grano o sección mineral en esta situación, que coinciden con las de los polarizadores, coinciden o no con alguna dirección cristalográfica en él reconocida.

## ÁNGULO DE EXTINCIÓN

El ángulo de extinción es el ángulo entre una dirección cristalográfica (traza de un plano cristalino) y una dirección óptica (índice de refracción principal). Se puede medir cuando la extinción es oblicua y el grano o sección presenta trazas de caras cristalinas o de exfoliación.

Para medirlo se procede de la siguiente manera:

1. Localizado un grano con bordes rectos o trazas de exfoliación (se observa mejor quitando el analizador) se anota el ángulo leído en la platina del microscopio cuando está en extinción.
2. En el caso de no observar bien la exfoliación, se quita el analizador y se hace coincidir un borde recto o la traza de exfoliación con un hilo del retículo, anotando el ángulo leído en la platina.
3. La diferencia entre ambos ángulos es el de extinción. Dicho ángulo es el que forma una dirección de vibración principal del grano con una dirección cristalográfica y según la dirección de vibración que en la extinción esté situada paralela a uno de los hilos del retículo se lee un ángulo o su suplementario. Hay que tener en cuenta que el ángulo que se suele dar en la bibliografía es de los citados, el menor.



### Procedimiento

- 1º) Situar grano o sección mineral enfocado en extinción y anotar la posición de la platina. Las direcciones de vibración del grano o sección mineral en esta situación coinciden con las de los polarizadores.
- 2º) Quitar analizador
- 3º) Girar grano o sección mineral hasta que traza de exfoliación coincida con hilo de retículo N-S y anotar la posición de la platina.
- 4º) Restar los valores anotados en los apartados 1º) y 3º) para obtener el ángulo de extinción.

## SUMA Y RESTA DE RETARDOS

El retardo es la diferencia de trayectoria entre la onda rápida y la lenta al salir de un cristal o mineral anisótropo.

La suma de retardos es la suma del retardo de la sección mineral o cristalina y el de la lámina auxiliar. El color de interferencia de la sección cristalina o mineral sube de orden. Ocurre cuando las direcciones de vibración de las ondas lenta y rápida de la sección mineral o cristalina coinciden con las correspondientes de la lámina auxiliar.

La resta de retardos es la resta del retardo de la sección mineral o cristalina y el de la lámina auxiliar. El color de interferencia de la sección cristalina o mineral baja de orden. Ocurre cuando las direcciones de vibración de las ondas lenta y rápida de la sección mineral o cristalina son perpendiculares a las de la lámina auxiliar.

Su determinación se puede llevar a cabo con:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada y analizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas
- Lente auxiliar

### Procedimiento

1°) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.

2°) Situar grano o sección mineral enfocado mostrando los colores de interferencia (a 45° de la posición de extinción), los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).

3°) Insertar lámina auxiliar de yeso (530 nm)

Si los colores han aumentado de orden ha habido suma de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

Si los colores han disminuido de orden ha habido resta de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral no coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

A 90° de la posición en la que se produce suma de retardos ahora se produce resta de retardos.

A 90° de la posición en la que se produce resta de retardos ahora se produce suma de retardos.

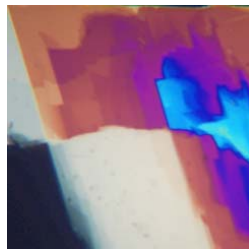
3º) Insertar lámina auxiliar de mica (147,3 nm) y observar los colores de interferencia, los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).

Si los colores han aumentado de orden ha habido suma de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

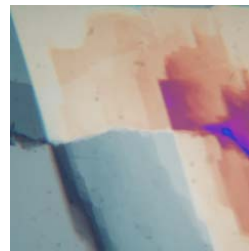
Si los colores han disminuido de orden ha habido resta de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral no coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

A 90º de la posición en la que se produce suma de retardos ahora se produce resta de retardos.

A 90º de la posición en la que se produce resta de retardos ahora se produce suma de retardos.

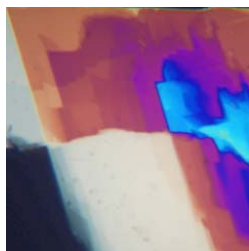


Color interferencia  
Yeso sin lámina auxiliar



Color interferencia  
Yeso con lámina auxiliar

Suma de retardos



Color interferencia  
Yeso sin lámina auxiliar



Color interferencia  
Yeso con lámina auxiliar

Resta de retardos

## DETERMINACIÓN DE LA ELONGACIÓN

La elongación es la relación entre la dirección larga de un grano alargado y la dirección de vibración con la que va asociada el índice de refracción mayor de ese grano.

Es necesario utilizar:

- **Microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados.**
- *Aumentos bajos a medios*
- *Las lentes condensadoras superiores bajadas.*
- *El diafragma iris abierto.*

### Procedimiento

- 1°) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 2°) Situar grano o sección mineral enfocado a 45° de la posición de extinción y observar los colores de interferencia, los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).
- 3°) Insertar lámina auxiliar de yeso (530 nm) y observar los colores de interferencia, los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).

Si los colores han aumentado de orden ha habido suma de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

Si los colores han disminuido de orden ha habido resta de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral no coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

A 90° de la posición en la que se produce suma de retardos ahora se produce resta de retardos.

A 90° de la posición en la que se produce resta de retardos ahora se produce suma de retardos.

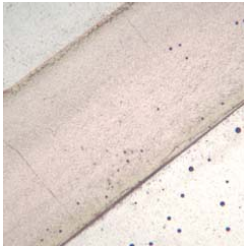
- 4°) Insertar lámina auxiliar de mica (147,3 nm) y observar los colores de interferencia, los cuales pueden compararse con los de la tabla de colores (enlace para que aparezca Tabla de Michel Lévy).

Si los colores han aumentado de orden ha habido suma de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

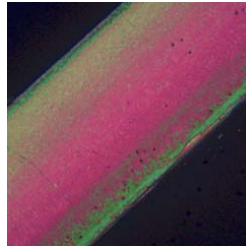
Si los colores han disminuido de orden ha habido resta de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral no coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

A  $90^\circ$  de la posición en la que se produce suma de retardos ahora se produce resta de retardos.

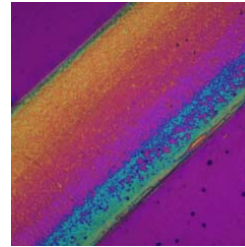
A  $90^\circ$  de la posición en la que se produce resta de retardos ahora se produce suma de retardos.



Yeso observado con luz polarizada



Yeso observado con polarizadores cruzados



Yeso observado con polarizadores cruzados y lámina auxiliar

Ha habido suma de retardos por lo que el índice de refracción mayor del yeso coincide con el de la lámina auxiliar, así la elongación es positiva y la sección largo lenta

## OBSERVACIÓN DE MACLAS

Una macla es la asociación de uno más cristales o minerales con diferente orientación cristalográfica.

Su observación se puede llevar a cabo con:

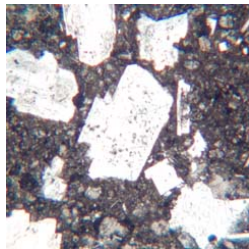
- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada o luz polarizada y analizada

Con polarizadores cruzados la observación es mejor debido a que si se trata de cristales o minerales anisótropos, cuando unos están extinguidos otros no.

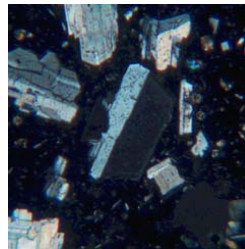
- Lentes condensadoras superiores retiradas

### Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Observar el aspecto del grano o granos minerales.
- 3º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 4º) Observar el aspecto del grano o granos minerales.



Plagioclasa observada  
con luz polarizada



Plagioclasa observada  
con polarizadores  
cruzados



## OBSERVACIÓN DE ZONADO

El zonado es la variación composicional dentro de un mineral. Muchas veces afecta al color y, entre polarizadores cruzados, se observa por cambios en la birrefringencia o en orientación de la extinción.

Su observación se puede llevar a cabo con:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada o luz polarizada y analizada

Con polarizadores cruzados la observación es mejor a veces debido a que pueden observarse diferencias en los colores de interferencia

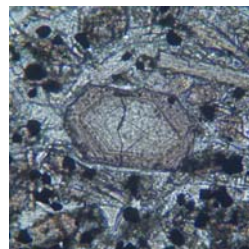
- Lentes condensadoras superiores retiradas

### Procedimiento

- 1°) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2°) Observar el aspecto del grano o granos minerales.
- 3°) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 4°) Observar el aspecto del grano o granos minerales.



Turmalina



Augita (piroxeno)

## OBSERVACIÓN DE INCLUSIONES

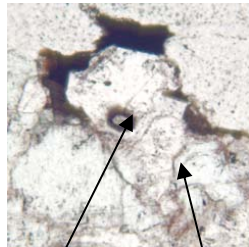
Una inclusión es una fase sólida y/o líquida y/o gaseosa o grupos de ellas que se encuentran atrapadas en el cristal o mineral hospedante. Pueden haberse formado antes, después o al mismo tiempo que el cristal o mineral hospedante, denominándose progenéticas, epigenéticas o singenéticas. Su estudio proporciona información sobre las condiciones de formación del cristal o mineral hospedante. Algunas son características de determinados cristales o minerales.

Su observación se lleva a cabo con:

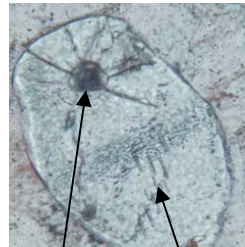
- Microscopio en disposición ortoscópica.
- Luz polarizada o luz polarizada y analizada (polarizadores cruzados).
- Lentes condensadoras superiores retiradas.

### Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Observar el aspecto de la inclusión o inclusiones.
- 3º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 4º) Observar el aspecto de la inclusión o inclusiones.



Circón en feldespato



Circón en apatito

## OBSERVACIÓN DE ALTERACIÓN

Aparece como un área de turbidez en los feldespatos, o como un reborde oscuro en los granos de olivino y en las fracturas. Se debe a la reacción de algún elemento del mineral original con  $\text{CO}_2$  o con agua que se encuentra en contacto con él, originando una nueva fase mineral.

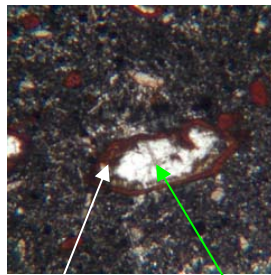
Su observación se lleva a cabo con:

- Microscopio en disposición ortoscópica
- Luz polarizada
- Lentes condensadoras superiores retiradas

### Procedimiento

1º) Situar el microscopio en disposición ortoscópica y luz polarizada y la lámina delgada sobre la platina.

2º) Observar la forma del contorno del grano o sección mineral.



Iddingsita en olivino

## FIGURA DE INTERFERENCIA

Es la figura que se forma en cristales o minerales anisótropos transparentes por interferencia de la luz.

En ella se distinguen:

- **Melatopo(s)**: Salida del eje óptico o de los ejes ópticos.
- **Isogiras**: Zonas extinguidas que se corresponden con zonas del cristal o mineral en las que las direcciones de vibración coinciden con las del polarizador y analizador.
- **Isocromas**: Zonas de igual color de interferencia (o retardo) que se corresponden con zonas del cristal o mineral en las que sus direcciones de vibración no coinciden con las del polarizador y analizador.
- Cada sección de un cristal o mineral anisótropo produce una figura de interferencia de aspecto diferente.

En los cristales o minerales uniáxicos (tetragonales, hexagonales, romboédricos) se distinguen tres figuras de interferencia:

- Eje óptico centrado que se observa en secciones cristalinas o minerales perpendiculares al eje cristalográfico  $c$ , es decir, las secciones con índices de Miller (001).
- Eje óptico descentrado que se observa en secciones cristalinas o minerales que forman un ángulo distinto de 0 o de 90° con el eje cristalográfico  $c$ , es decir, las secciones con índices de Miller (hkl).
- Flash que se observa en secciones cristalinas o minerales que son paralelas el eje cristalográfico  $c$ , es decir, las secciones con índices de Miller (h00), (0k0), (hk0).

En los cristales o minerales biáxicos (rómicos, monoclinicos, triclinicos) se distinguen como figuras de interferencia:

- Bisectriz aguda centrada que se observa en secciones perpendiculares a la bisectriz del ángulo agudo de los ejes ópticos (eje Z si el cristal o mineral es (+) o eje X si el cristal o mineral es (-)).
- Bisectriz obtusa centrada que se observa en secciones perpendiculares a la bisectriz del ángulo obtuso de los ejes ópticos (eje X en cristal o minerales (+) y eje Z en cristal o mineral es (-)).
- Eje óptico que se observa en secciones perpendiculares a uno de los ejes ópticos de un cristal o mineral biáxico.
- Flash que se observa en secciones perpendiculares a la normal óptica de un cristal o mineral biáxico.
- Figuras semigenerales, Una sección semigeneral es paralela a uno de los tres ejes principales X Y o Z y perpendicular al plano que contiene a los otros dos ejes.

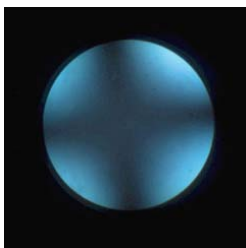
- Figuras generales Una sección general es la sección que no es paralela a ninguno de los ejes X, Y o Z, por lo tanto no es perpendicular a una de las secciones principales XY, XZ o YZ.

Su observación se lleva a cabo con:

- Microscopio en disposición conoscópica (los rayos de luz son convergentes).
- Grandes aumentos.
- Diafragma iris abierto.
- Polarizadores cruzados
- Lentes condensadoras superiores colocadas
- Lentes da Bertrand

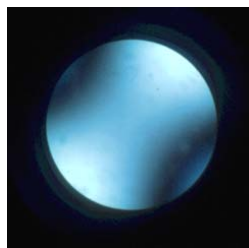
Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición conoscópica con polarizadores cruzados y lentes de Bertrand y el grano o sección cristalina o mineral en la posición de extinción.
- 2º) Observar el aspecto de la figura de interferencia.
- 3º) Girar la platina del microscopio y observar el aspecto de la figura de interferencia.

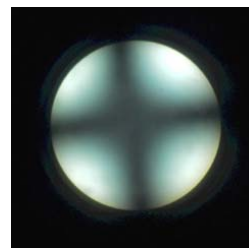


Posición de 0°

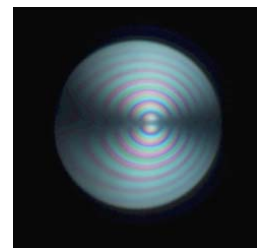
Moscovita. Figura de bisectriz aguda



Posición de 45°



Turmalina. Sección perpendicular al eje óptico  
Figura centrada.



Espodumena  
Figura de eje óptico centrado

## SIGNO ÓPTICO

Es una propiedad óptica que se obtiene a partir de la relación de los índices de refracción principales del cristal o mineral.

Puede ser (+) o (-).

- Uniáxicos es
  - (+) cuando  $n_e > n_o$
  - (-) cuando  $n_o > n_e$
- Biáxico es
  - (+) cuando  $n_\gamma > n_\alpha$  y  $n_\beta$  se aproxima a  $n_\alpha$
  - (-) cuando  $n_\gamma > n_\alpha$  y  $n_\beta$  se aproxima a  $n_\gamma$

Su determinación se lleva a cabo con:

- Microscopio en disposición conoscópica del (los rayos de luz son convergentes).
- Grandes aumentos.
- Diafragma iris abierto.
- Polarizadores cruzados
- Lentes condensadoras superiores colocadas
- Lentes de Bertrand
- Lente auxiliar

### Procedimiento

- 1º) Situar el microscopio en disposición conoscópica con polarizadores cruzados y la lámina delgada sobre la platina.
- 2º) Situar grano o sección mineral enfocado mostrando la figura de interferencia (a 45° de la posición de extinción).
- 3º) Insertar lámina auxiliar de yeso (530 nm)

En los cuadrantes en los que los colores de interferencia han aumentado de orden ha habido suma de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

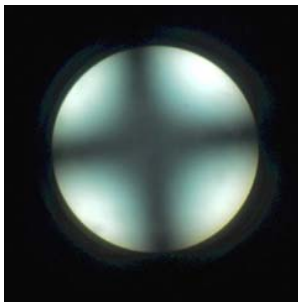
En los cuadrantes en los que los colores han disminuido de orden ha habido resta de retardos porque en ese caso los índices de refracción mayor y menor del grano o sección mineral no coinciden respectivamente con los de la lámina auxiliar.

A 90° de la posición en la que se produce suma de retardos ahora se produce resta de retardos.

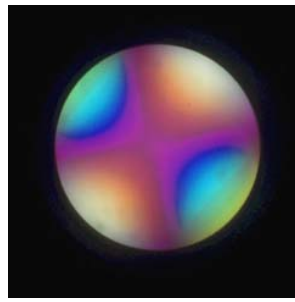
A  $90^\circ$  de la posición en la que se produce resta de retardos ahora se produce suma de retardos.

Fijarse en los dos cuadrantes opuestos en los que hay sustracción (en los otros dos habrá adición) y unirlos imaginariamente con una línea que los una. Si dicha línea imaginaria es perpendicular a la dirección indicada en la lámina auxiliar para su índice mayor, el signo es (+). Si dicha línea imaginaria es paralela a la dirección indicada en la lámina auxiliar para su índice mayor, el signo es (-)

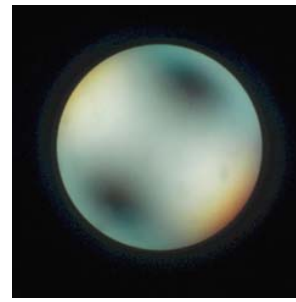
4º) Observar el aspecto de la figura de interferencia y obtener el signo óptico.



Turmalina.  
Figura de interferencia



Turmalina.  
Figura de interferencia  
observada con lámina  
auxiliar de yeso  
mostrando resta de  
retardos en cuadrantes  
en los que aparece  
color amarillo



Turmalina.  
Figura de interferencia  
observada con lámina  
auxiliar de mica  
mostrando resta de  
retardos en cuadrantes  
en los que aparecen los  
puntos negros