

CONTENIDO

1. Introduccion	3
2. Con polarizador – sin analizador	5
3. Color	5
4. Pleocroismo.....	7
5. Forma	8
6. Clivaje.....	11
7. Forma	13
8. Habito	14
9. Relieve.....	15
10. Con analizador.....	20
11. Isotropia	20
12. Anisotropia	20
13. Colores de interferencia	23
14. Direcciones de vibración del rayo lento y rápido.....	26
15. Existencion.....	28
16. Elongacion.....	29
17. Angulo de Extincion.....	31
18. Maclas	31
19. Interferencias Anomalas.....	33

1. INTRODUCCIÓN

La microscopía óptica de minerales es una importante herramienta para investigaciones geológicas-mineras de diversa índole. Con su ayuda se pueden determinar minerales, describir texturas, identificar tipos de rocas, alteraciones y asociaciones de minerales de mena, entre otras aplicaciones.

Se debe aclarar que el programa de la materia está estructurado de una manera secuencial y es por eso que debemos considerar que:

Los alumnos tienen conocimiento de los principales fenómenos ópticos que se producen cuando la luz polarizada pasa a través de los minerales por el desarrollo del tema anterior.

También tiene conocimiento del tren del microscopio y las diferentes posibilidades de utilizar los componentes fijos, móviles y los accesorios según las propiedades que se quieren analizar. Por este motivo el tema se expondrá teniendo en cuenta que los alumnos han adquirido el conocimiento mencionado.

También se debe tener en cuenta que el alumno al hacer una observación microscópica conoce del mineral sus propiedades cristalográficas, físicas y químicas.

Se debe aclarar que en esta guía práctica se resumen las determinaciones ópticas de los minerales con el microscopio polarizante, los fundamentos están desarrollados en el libro de Mineralogía óptica del autor Paul F. Kerr.

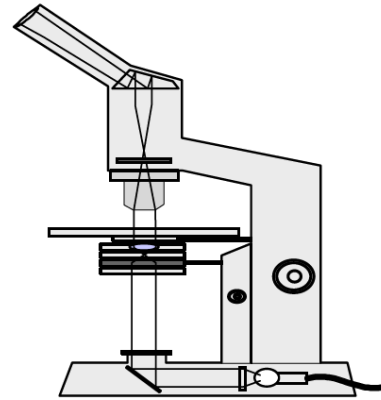
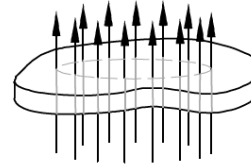
Estudio con Luz Ortoscópica

Figura 1: Luz Ortoscópica.

Fuente: Microscopía Óptica. Boletín 1. Serie J. Luis Humberto Rivera.

Luz Ortoscópica
(Haz de rayos paralelos)

Para observación de características
de una superficie



Lente Bertrand fuera de secuencia

La observación ortoscópica proporciona una imagen virtual con un campo plano del objeto sobre la platina del microscopio, donde se puede examinar los minerales con iluminación de luz plano polarizada y luz con plano de polarización cruzada (perpendicular).

2. CON POLARIZADOR - SIN ANALIZADOR

Tren del microscopio: Fuente luminosa – filtro – diafragma abierto – polarizador – lente condensadora de bajo poder – platina – muestra – objetivo 10X – ocular.

Propiedades

3. COLOR:

Es la resultante de combinación de longitudes de onda que atraviesan y depende de la absorción selectiva de determinadas longitudes de ondas.

El color que se observa en la partícula cuando es observado con el microscopio polarizante. En general los minerales son incoloros en secciones delgadas o en granos, pero algunos de ellos pueden tener tintes de colores suaves, siendo escasos los minerales que presentan colores fuertes. Los diferentes colores que presentan algunos minerales están relacionados con su color natural. Figura 2.

Ejemplos:

Fluorita puede presentarse de color: rosa pálido, amarillo, verdoso, azulino o violeta.

Granates puede presentarse de color: rosa pálido, pardo, amarillo, verdoso o negro.

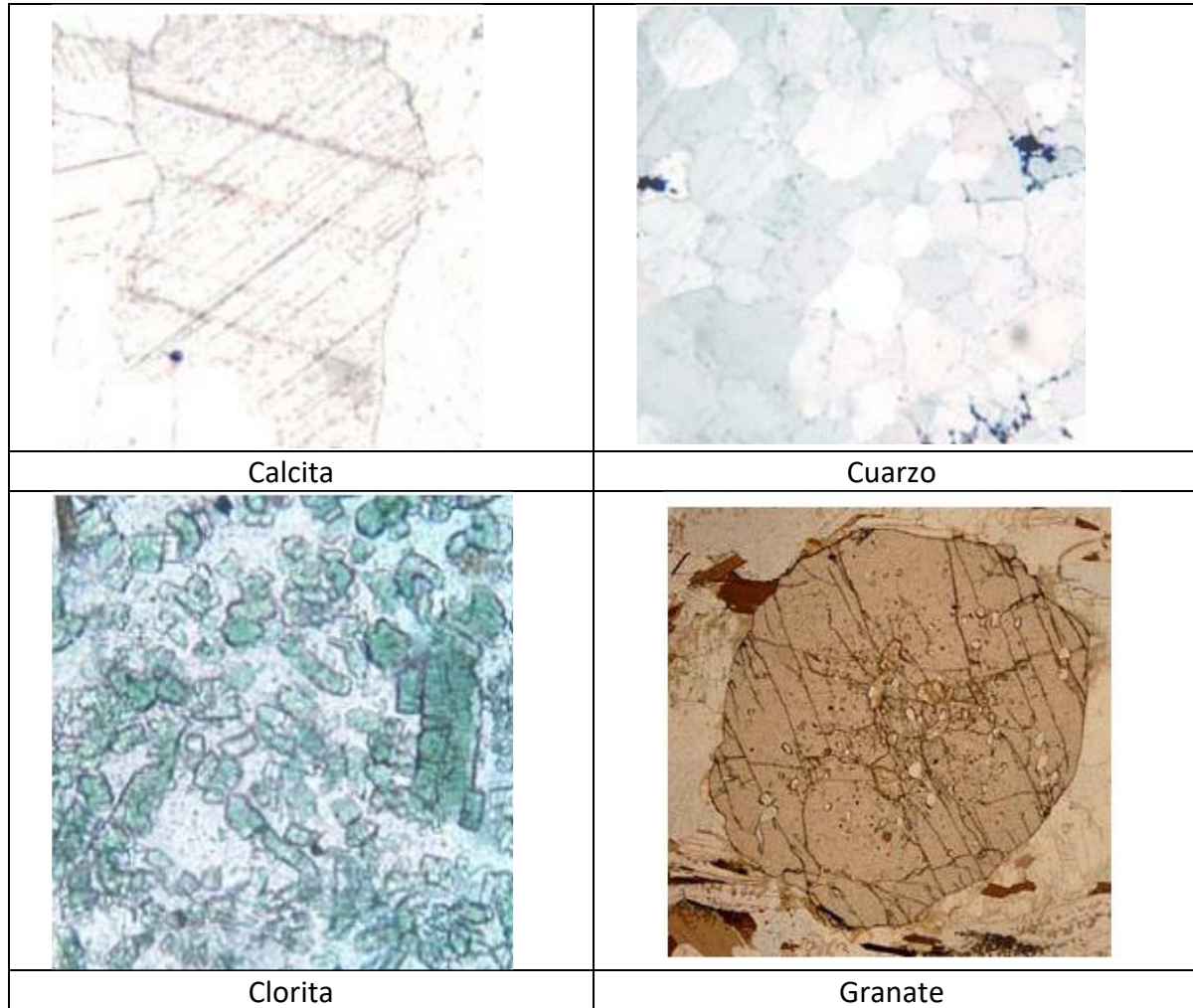


Figura 2: Colores de minerales sin analizador

4. PLEOCROÍSMO

Es la propiedad que presentan algunos minerales anisotrópos, de cambiar el color o el tono del color cuando se gira la platina. Esta propiedad se debe a la diferente absorción de la luz polarizada según la dirección de vibración de los rayos.

Los dimétricos (tetragonales y hexagonales) son dicroicos, es decir que presentan dos colores diferentes (Ej. rutilo, turmalina).

Los trimétricos (rómicos, monoclinicos y triclinicos) son tricroicos porque muestran tres colores diferentes (Ej. biotita, hornblenda, actinolita).

Los minerales isotrópicos no originan cambios de color cuando se gira la platina. Figura3

Ejemplos:

Biotita - tiene un pleocroísmo de blanco a marrón.

Turmalina - tiene un pleocroísmo de marrón a negro o verde.

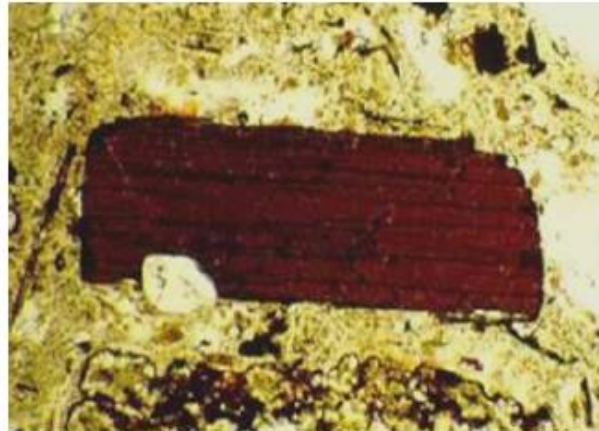


Figura 3: Pleocroísmo que presenta un individuo prismático de biotita

5. FORMA

Es la propiedad que define la forma de las partículas de un mineral. Si la partícula posee caras perfectamente desarrolladas se denomina euhédrica, como la calcita. Figura 4. Cuando las caras no están totalmente desarrolladas se denominan subhédrica, (Figura 5) como los feldspatos y sin caras desarrolladas anhédricas como el cuarzo (Figura 6). Se debe tener en cuenta la preparación de la muestra a analizar ya que si está preparada en granos las formas de las partículas las condiciona el clivaje y no su cristalización. Por ejemplo, el granate en sección delgada se presenta generalmente euhédrica pero en grano es anhédrico similar al cuarzo porque no tiene clivaje.

Un número considerable de las formas observados en secciones delgadas o en granos, son tan característica que ayudan a su identificación.

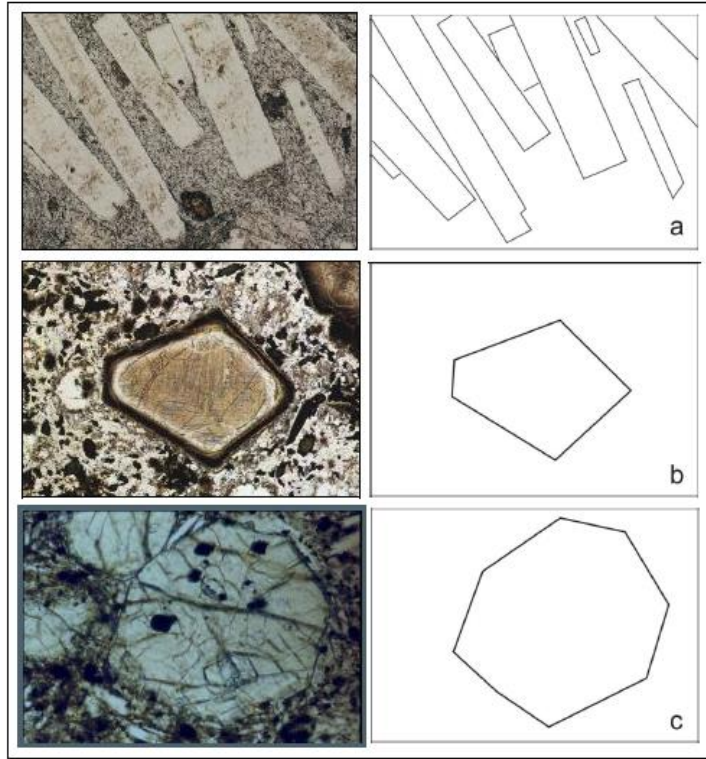


Figura 4: Cristales euhedrales de a) sanidina, b) noseana y c) piroxeno.

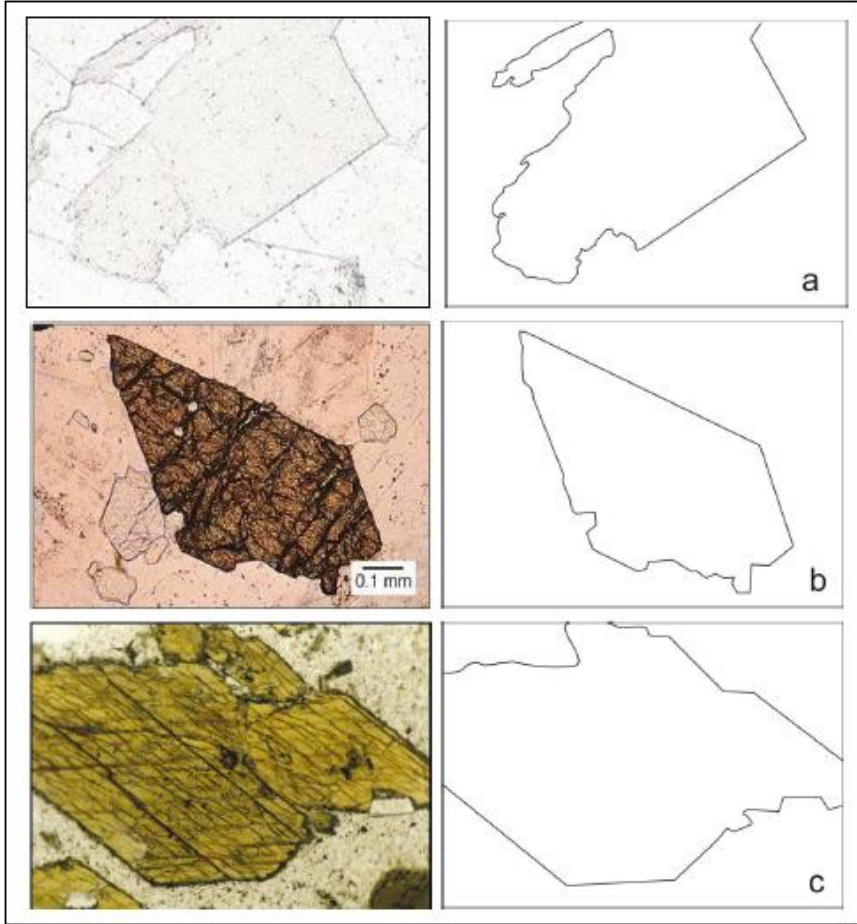


Figura 5: Cristales subhedrales de a) moscovita en sección prismática, b) titanita en sección basal y c) anfíbol (hornblenda) en sección basal.

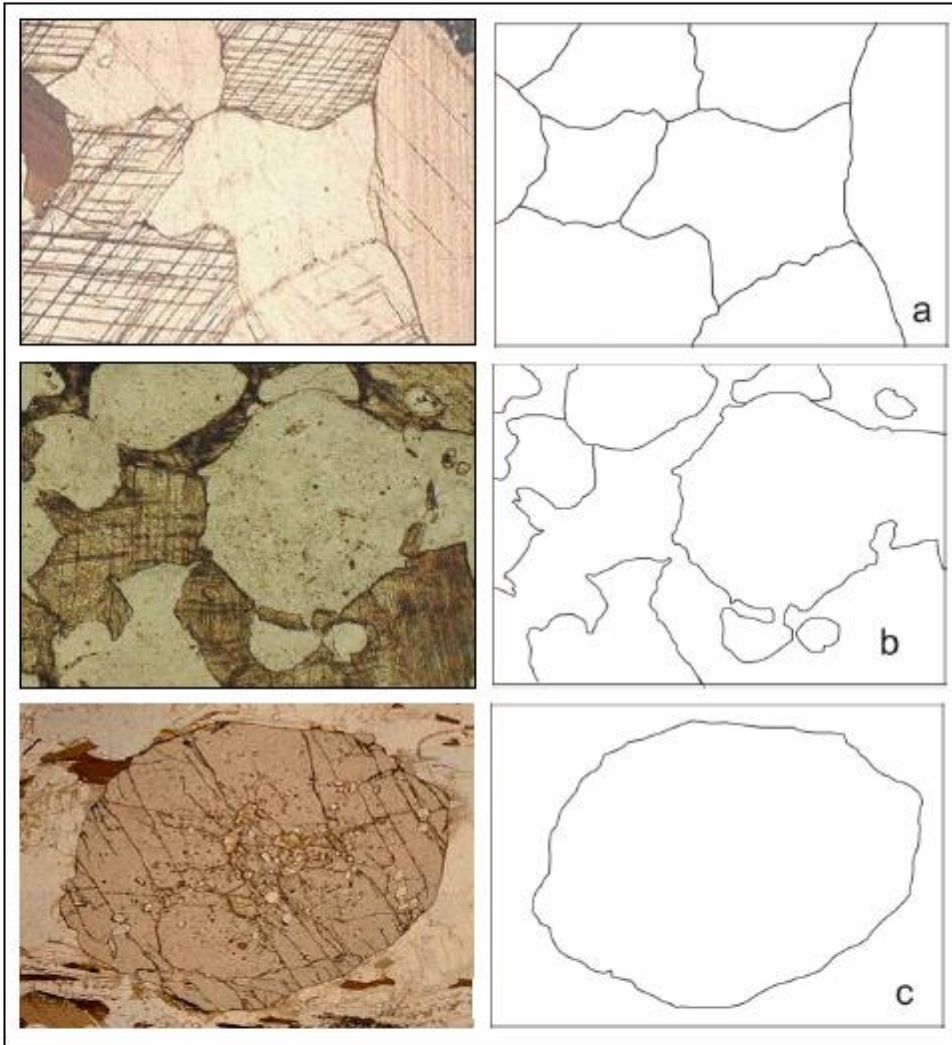


Figura 6: Cristales anhedrales de a) calcita, b) brucita y c) granate

6. CLIVAJE

Tanto el clivaje como la fractura dependerán del tamaño de grano, si son muy pequeños no se desarrollará ninguno de ellos.

El clivaje se observa en el microscopio de diferentes maneras de acuerdo a la muestra observada. En muestra en grano como el mineral es quebrado para su preparación, si existe clivaje se observa porque las partículas presentan bordes rectos.

En las secciones delgadas el clivaje está representada por líneas rectas que cruzan las partículas. Ejemplo: Calcita, feldspatos, anfíbol, piroxenos.

1) *Clivaje en una dirección*: moscovita, biotita, clorita, topacio. Figura 7

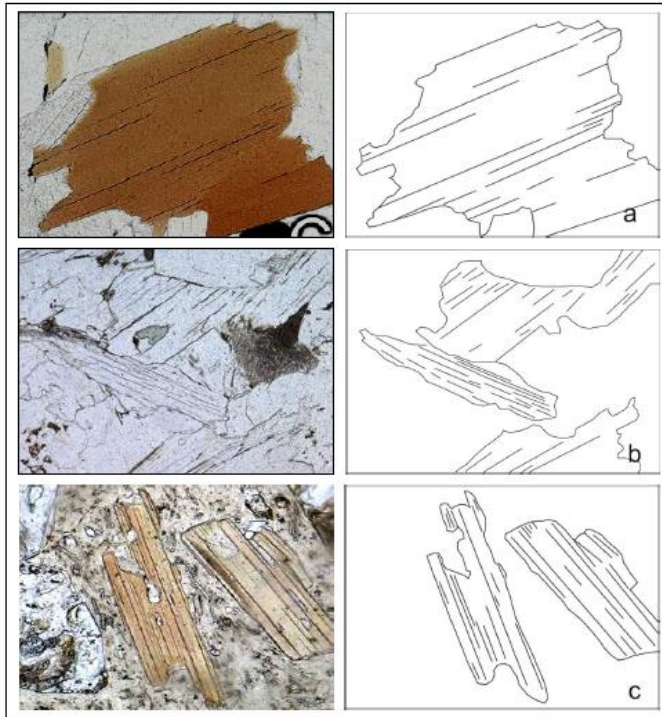


Figura 7: Minerales con clivaje en una dirección, a) biotita en sección prismática, b) moscovita en sección prismática y c) flogopita en sección prismática

2) *Clivaje en dos direcciones*: piroxenos, anfíboles, feldspatos (Figura 8)

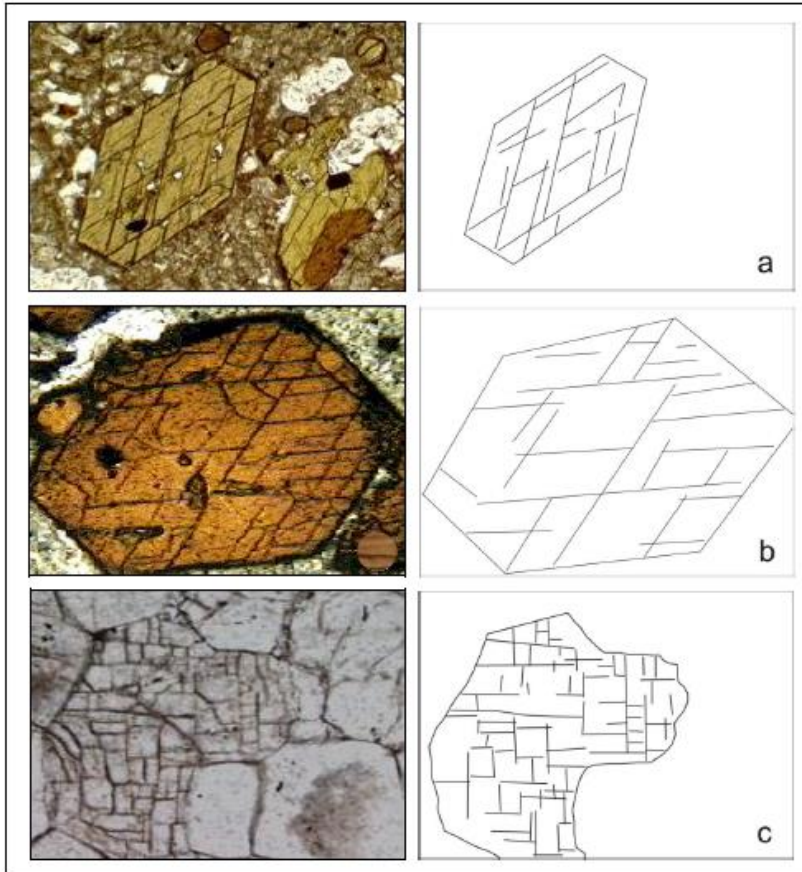


Figura 8: Minerales con clivaje en dos direcciones, a) hornblenda verde en sección basal, b) hornblenda parda (oxihornblenda) en sección basal y c) piroxeno (diópsido) en sección basal.
Fuente : Apuntes Estela Meissl

3) *Clivaje en tres direcciones*: se manifiesta en contornos cuadrados o rectangulares, tal como en la anhidrita.

4) *Clivaje en cuatro direcciones*: común en fluorita, donde los planos de clivaje son paralelos a la cara de un octaedro.

5) *Clivaje en seis direcciones*: como ejemplo se cita a la esfalerita, donde los planos son paralelos a las caras de un rombododecaedro.

7. FRACTURA:

Muchos minerales presentan clivaje muy pobre o no lo presentan. Cuando son expuestos a efectos mecánicos externos o a esfuerzos internos durante el enfriamiento rápido estos granos desarrollarán fracturas irregulares. Estas pueden incluso tener una orientación preferencial.

La fractura se observa como líneas irregulares que cortan al mineral. Por ejemplo, el cuarzo, los granates y el olivino tienen fractura.

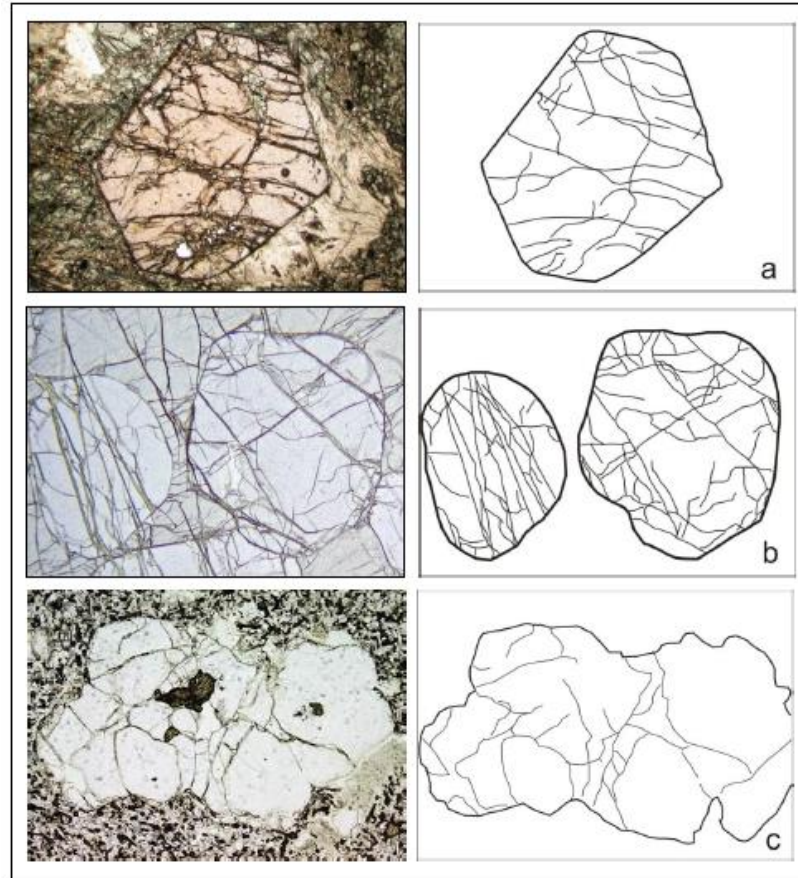


Figura 9: Líneas de fractura en a) granate euédral, b) granos redondeados de olivino y c) grano anédral de leucita.

8. HÁBITO: Esta propiedad se observa en el microscopio de la misma manera que los minerales se presentan en la naturaleza con rasgos característicos. Figura 10.



Figura 10: Hábitos de minerales

Fuente: Guía de Microscopia

9. RELIEVE

Esta propiedad se refiere a la diferencia del índice de refracción del mineral con respecto al medio donde está inmerso. Figura 11
Es el resultado de la refracción y de la reflexión total de los rayos de luz en la interfaz del grano de mineral y sus alrededores.
Se determina observando la apariencia de la superficie de la partícula y los bordes.

Bajo: bordes apenas perceptibles

Medio: bordes medianamente marcados

Alto: bordes muy marcados

Partículas de mineral en líquido de inmersión – fragmentos sueltos. Figura 12

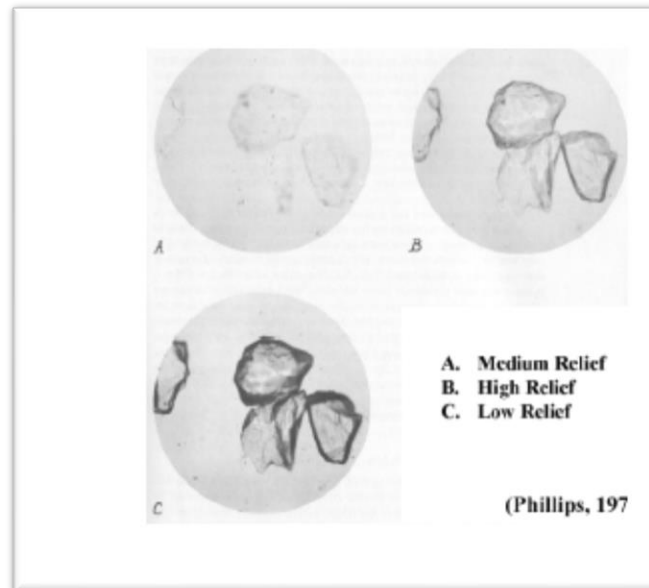


Figura 11: Partículas de mineral en líquido de inmersión






Relieve	Relieve Negativo	Relieve Neutro	Relieve Positivo		
			Bajo	Medio	Alto
					
	$n < 1,55$	$\sim 1,55$	1,55-1,60	1,60-1,70	$n > 1,70$
	Nefelina, Zeolitas	Bálsamo de Canadá	Cuarzo, Feldespatos	Apatito, Micas, Carbonatos	Circón, Rutilo, Esfena

Figura 12: Relieve de algunos minerales comparando su índice de refracción con el del Bálsamo de Canadá ($\eta=1,537$)

Para determinar si el mineral tiene menor o mayor índice de refracción que el medio de inmersión se utiliza el método de la línea de Becke.

La Línea de Becke es una línea/zona luminosa a brillante que rodea el grano de mineral, por dentro o por fuera, cercano al borde. Figura 13



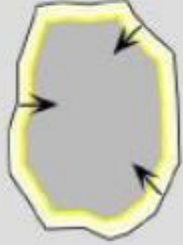
Aumentar Distancia Objetivo-Objeto		
		
$N_{\text{mineral}} < N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} \sim N_{\text{medio}}$	$N_{\text{mineral}} > N_{\text{medio}}$
Línea de Becke hacia material de mayor índice de refracción		

Figura 13: Línea de Becke hacia material de mayor índice de refracción

– Al aumentar distancia de trabajo, distancia entre muestra y objetivo, la Línea de Becke se desplaza hacia el medio de mayor índice de refracción. El plano focal se desplaza hacia arriba registrando la concentración de luz en el medio de mayor índice de refracción por los fenómenos de refracción y reflexión total. Figura 14.

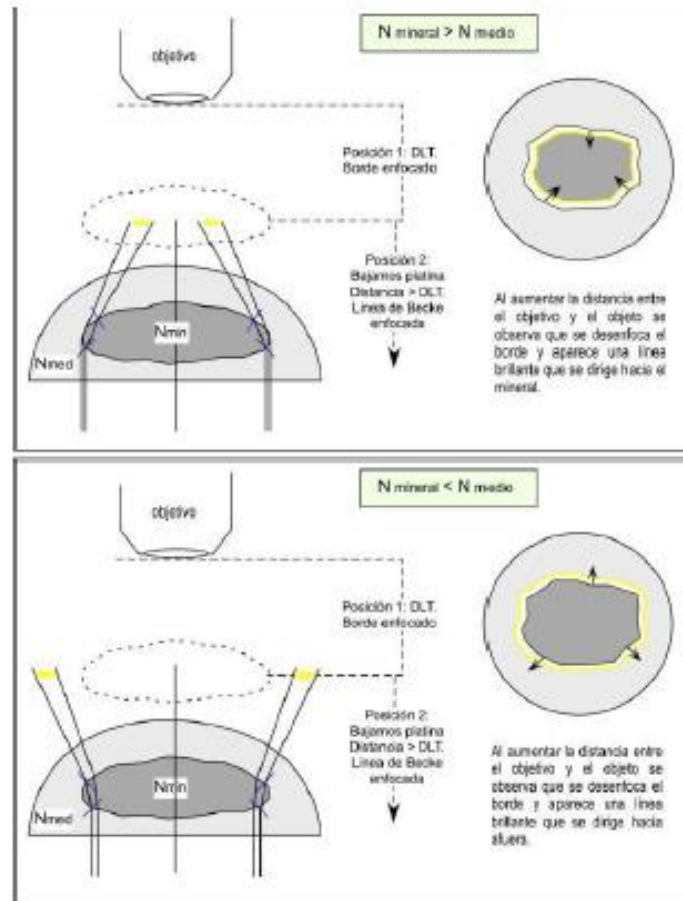


Figura 14: Formación de la línea de Becke. Al aumentar la distancia entre el objetivo y el objeto, se observa que se desenfoca el borde y aparece una línea brillante que se dirige hacia el material de mayor índice de refracción.

DETERMINACIÓN ÍNDICE REFRACCIÓN MINERAL

Tren del microscopio: Fuente luminosa – filtro – diafragma cerrado o semicerrado – polarizador – lente condensadora de bajo poder – lente condensadora de alto poder – platina – muestra – objetivo 45X – ocular.

Usando el tren del microscopio propuesto arriba, se observa una línea luminosa brillante que rodea el grano del mineral, ya sea por fuera o por dentro, pero siempre muy cercano al borde (Línea de Becke).

Aumentando la distancia de trabajo (distancia entre la muestra y el objetivo) esta línea se desplaza al medio de mayor índice de refracción.

Teniendo en cuenta el relieve observado anteriormente se puede estimar en cuanto se debe modificar el índice de refracción del medio.

Mediante un juego entre el índice del medio (aceite de inmersión) y el relieve se llega a determinar el índice de refracción del mineral.

Ejemplo:

- a. Preparar una muestra con un líquido de índice de refracción conocida (por ejemplo 1,50)
- b. Determinar el relieve
- c. Hacer el ensayo de la línea de Becke.

Si el mineral tiene mayor índice que el líquido (línea de Becke hacia el mineral) y tiene un relieve alto se tiene que preparar otra muestra con un líquido de refracción más alto que el anterior (por ejemplo 1,60 más o menos 0,10 mayor).

- d. Repetir b)
- e. Se repite c), si se determina que el líquido tiene mayor índice de refracción que el mineral y tiene un relieve medio se debe utilizar un líquido de índice menor que el anterior (por ejemplo 1,56 más o menos 0,05 menor).
- f. Se sigue el mismo procedimiento hasta que la línea de Becke produce efectos contrarios entre dos líquidos de índice de refracción consecutivos (por ejemplo 1,56 y 1,57)

Resumen:

Alto: +/- 0.10

– Medio: +/- 0.05

– Bajo: +/- 0.02

10. CON ANALIZADOR (Nicoles cruzados)

Tren del microscopio:

Fuente luminosa – filtro – diafragma abierto – polarizador – lente condensadora de bajo poder – platina – muestra – objetivo 10X
analizador – ocular

Propiedades

Cuando se superponen analizador y polarizador vibrando normalmente entre sí y perpendicular a la dirección de los rayos luminosos, se dice que los nicoles están cruzados. Los nicoles cruzados producen oscurecimiento cuando la platina está vacía o cuando contiene materiales ópticamente isótropos, como el vidrio, el ópalo y los minerales del sistema cúbico. Los minerales que cristalizan en sistema distinto del isométrico son anisótropos, estos al ser observados a través del microscopio presentan una serie de colores de interferencia en cuatro posiciones cuando se gira la platina 360° (es decir cada 90°) y cuatro oscurecimientos (cada 90°). Estos oscurecimientos suceden cuando coinciden los planos de vibración del polarizador y analizador con los planos ópticos de vibración del mineral y se dice que está extinguido.

11. ISÓTROPÍA: Se gira la platina 360° y si la partícula permanece oscura el mineral es isótropo (Minerales que pertenecen al sistema cúbico o son amorfos). Hay que observar otras partículas para confirmar si son isótropos ya que hay algunos minerales anisótropos que se comportan como isótropos y minerales isótropos como anisótropos como se verá más adelante.

12. ANISÓTROPÍA: Se gira la platina 360° y la partícula se ilumina y oscurece 4 veces el mineral es anisótropo (Minerales que pertenecen a los sistemas tetragonal, hexagonal, ortorrómbico, monoclinico y triclinico). Figura 15.

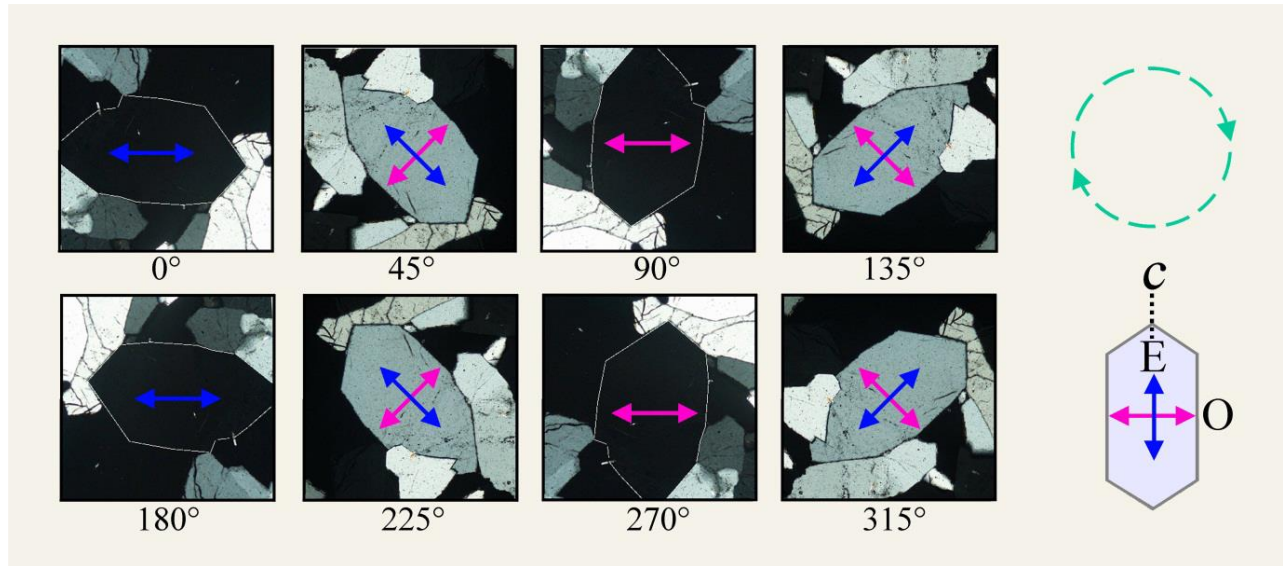


Figura 15: Posiciones de extinción y posiciones diagonales para un grano de cuarzo durante una rotación de 360° de la platina. La luz que entra en un cristal anisótropo se “divide” en dos ondas de luz que vibran perpendicularmente entre sí (con excepciones que se aplican a algunas direcciones específicas en el cristal). Las dos ondas de luz se propagan a través del cristal con diferentes velocidades (rayos lento o de mayor índice y rápido o de menor índice). Este fenómeno se denomina doble refracción. Figura 16

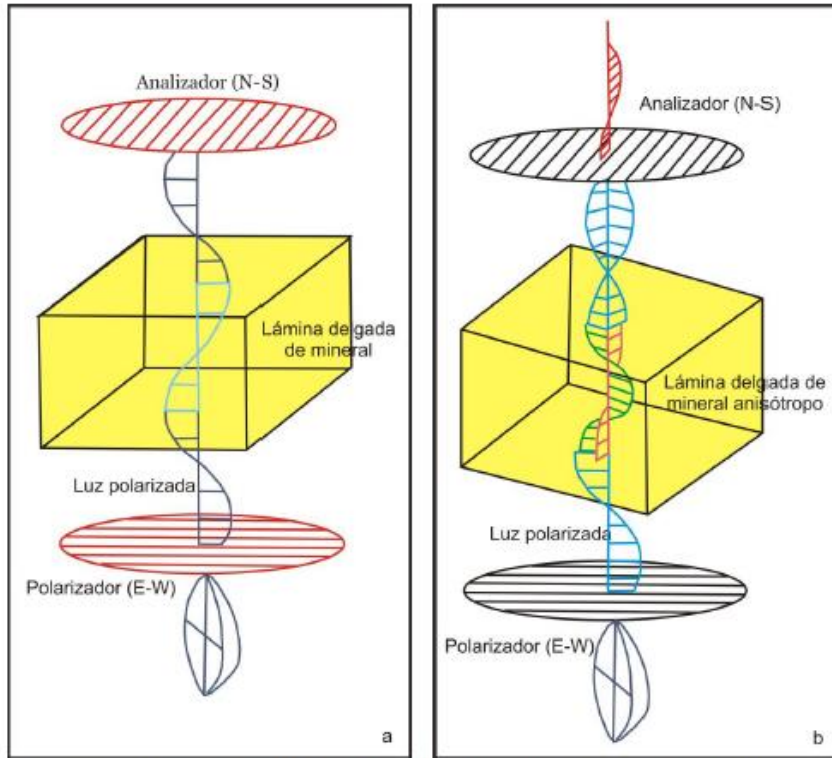


Figura 16: a) Comportamiento de la luz polarizada al atravesar un mineral isótropo,
 b) Comportamiento de la luz polarizada al atravesar un mineral anisótropo.
 En ambos casos con nicóles cruzados.

Resumiendo: los minerales que al ser atravesados por un rayo de luz, lo refractan en dos rayos que viajan normales entre sí a velocidades diferentes, se denominan ANISOTROPOS.

Los minerales de los sistemas tetragonal y hexagonal son dimétricos ($a=b \neq c$; $a_1=a_2=a_3 \neq c$, respectivamente): tienen dos índices de refracción (ϵ y ω). Los que cristalizan en los sistemas rómbico, monoclinico y triclinico son trimétricos ($a \neq b \neq c$): tienen tres índices de refracción (α , β y γ).

13. COLORES DE INTERFERENCIA: para observar estos colores hay que llevar a extinción un grano de mineral, luego girar la platina a 45° en esta posición se observan los colores de interferencia con su máxima intensidad. Cuando la luz sale del polarizador lo hace vibrando en un plano E-W (ó N-S), cuando atraviesa un mineral anisótropo colocado en la platina del microscopio, se “divide” en dos rayos que viajan perpendicularmente entre sí, con velocidades diferentes. La diferencia de velocidades generada es denominada “retardo”. Este retardo se mantiene aun cuando los rayos hayan salido del mineral. Al atravesar el analizador N-S (ó E-W) los rayos se resuelven en un único rayo pero la diferencia de fase se mantiene, observándose los colores de interferencia

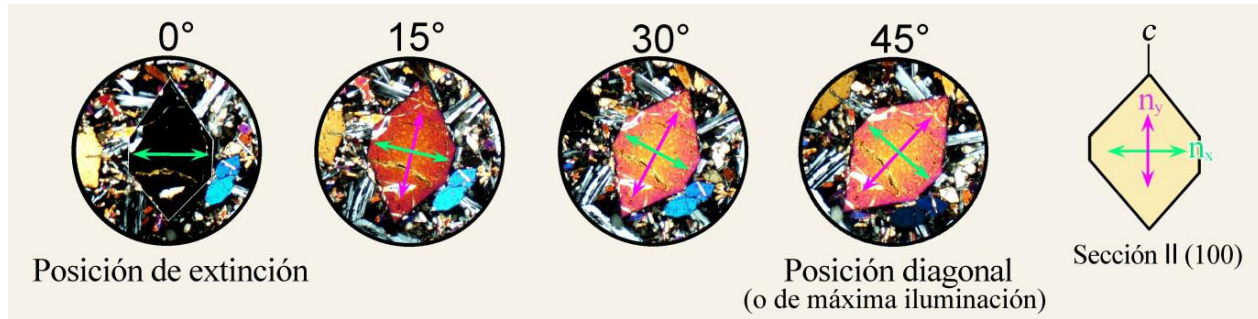


Figura16: Color de interferencia para un cristal de forsterita al girar la platina desde la posición de extinción hasta la posición diagonal a 45°.

Estos colores se producen por la denominada **retardación** que corresponde a la diferencia de camino entre las vibraciones de los rayos y están en función del **espesor** del grano del mineral y de la diferencia entre los índices de refracción del mismo (**Birrefringencia**) y que también depende de la orientación del mineral observado.

$$\Delta = t.(n_2-n_1) \text{ donde } \Delta = \text{retardación} - t = \text{espesor} - n_2-n_1 = \text{birrefringencia}$$

Esta ecuación corresponde a una recta construida en base a la diferencia entre los índices de refracción y espesor de los minerales obteniendo así la lámina de colores de Michael - Levy .

Estos dependen de la sección del mineral, el espesor y su orientación en la platina respecto de los planos de vibración de los polarizadores (que coinciden con la dirección de los hilos del retículo). Para evitar variaciones debe estandarizarse trabajando con sección delgada de 30 micrones de espesor, a 45° de la posición de extinción, en secciones con máxima anisotropía.

El color de interferencia se compara con los que se encuentran en la tabla de colores de Michel Levy (Figura 17).

El color de interferencia es una característica diagnóstica muy importante, que permite además calcular la birrefringencia y el espesor de la muestra.

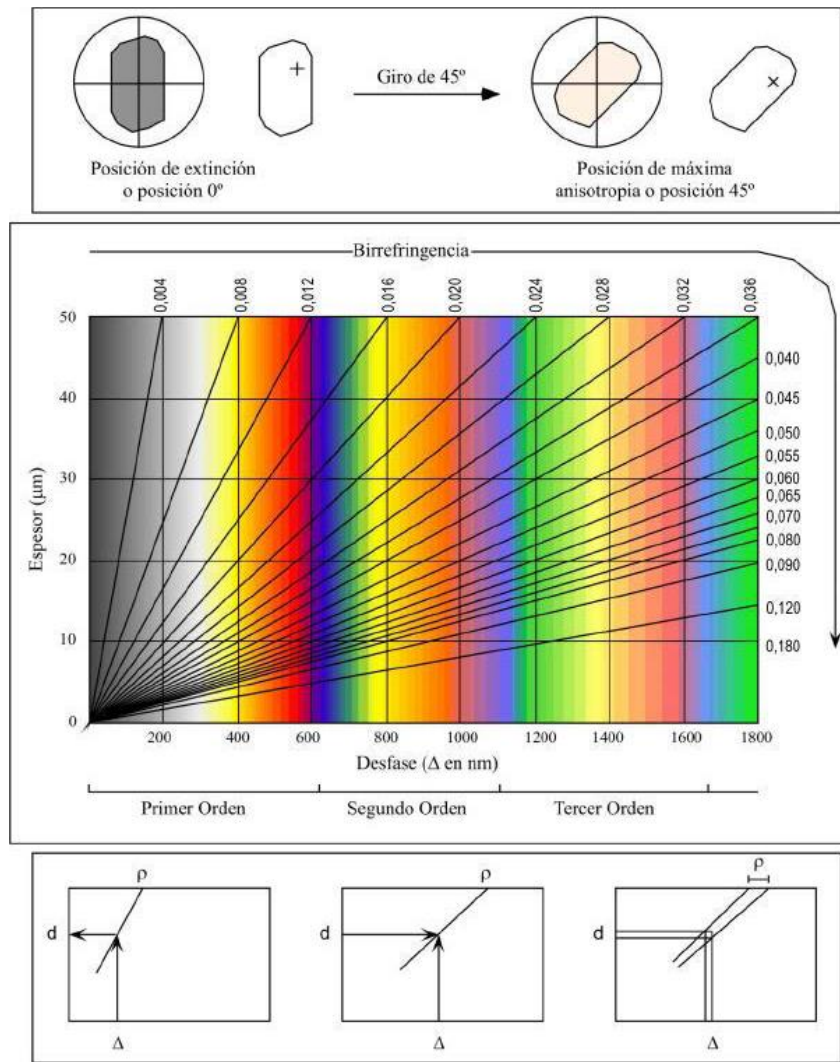


Figura 17: Carta de colores de interferencia de Michel-Lévy. En la parte superior se explica la posición en que deben observarse los colores de interferencia (posición 45°). Algunas aplicaciones en la parte inferior: Determinando el color de interferencia de un mineral conocido (r conocido), se puede saber el espesor de la sección delgada. Conociendo el espesor de la sección y observando el máximo color de interferencia de cualquier mineral, se puede determinar su birrefringencia.

USO DE LA LÁMINA DE MICA, DE YESO, CUÑA DE CUARZO Y COMPENSADOR DE BEREK:

Estos accesorios se utilizan para producir retardación de la luz polarizada, la lámina de mica produce una retardación de $175 \text{ m}\mu$, la lámina de yeso de $550 \text{ m}\mu$, la cuña de cuarzo está en el cuarto orden y el compensador de Berek está en el séptimo orden. Estos accesorios tienen marcado con una doble flecha la dirección de vibración del rayo lento (\blacktriangleleft) que generalmente es perpendicular a la longitud de la placa.

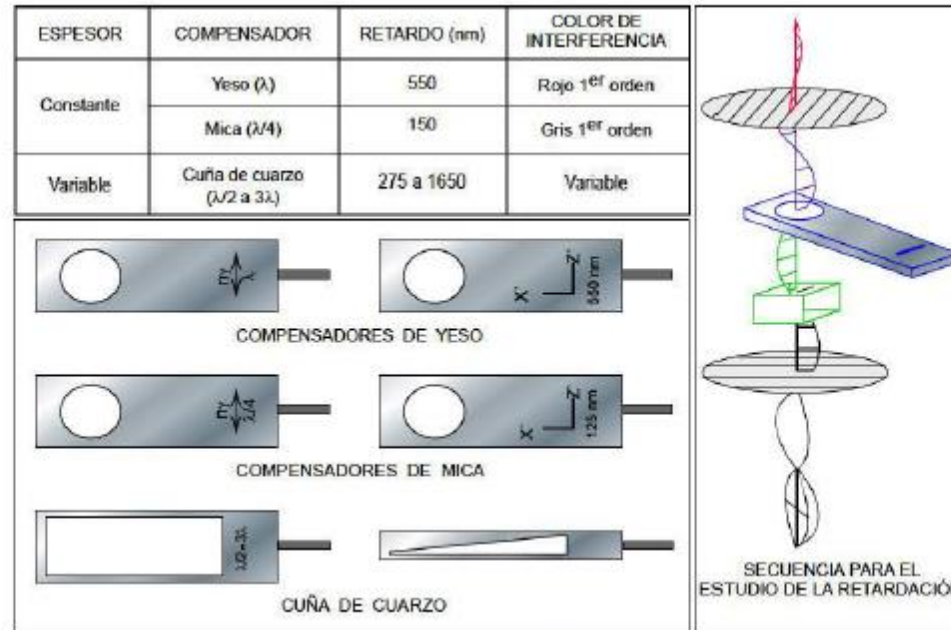


Figura 18: Características de las láminas accesorias (compensadores)

14. DIRECCIONES DE VIBRACIÓN DEL RAYO LENTO Y RÁPIDO:

La determinación de las direcciones de los rayos rápidos y lentos se efectúa entre nicoles cruzados, estableciéndose la posición de los dos rayos mediante la observación de extinción. Cuando el mineral se oscurece, las direcciones de vibración de los rayos son paralelas a los planos de vibración de polarizador-analizador. Y dado que estos planos son paralelos a la cruz de los hilos del retículo, los planos de vibración en el mineral también serán paralelos, en la posición de extinción, a la cruz del retículo.

Para establecer cuál de los rayos es el rápido y cuál el lento se usa una lámina de mica o una lámina de yeso. Cuando se han determinado las posiciones de las direcciones de vibración de los rayos, se lleva el mineral de la posición de extinción a la de máxima interferencia "45°". A continuación, se coloca en el tubo del microscopio cualquier lámina de mica o yeso con la dirección de vibración del rayo lento, paralela a una de las direcciones de vibración del mineral. Si el orden de color aumenta, la dirección paralela es la de vibración del rayo lento del mineral; si disminuye, esta dirección representa el rayo rápido. Conociendo una dirección, la otra está a 90° . Figura 19

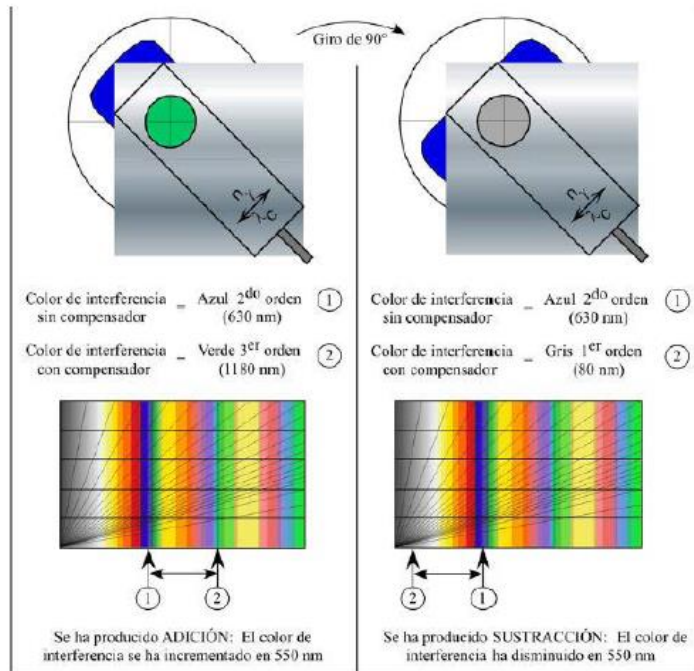
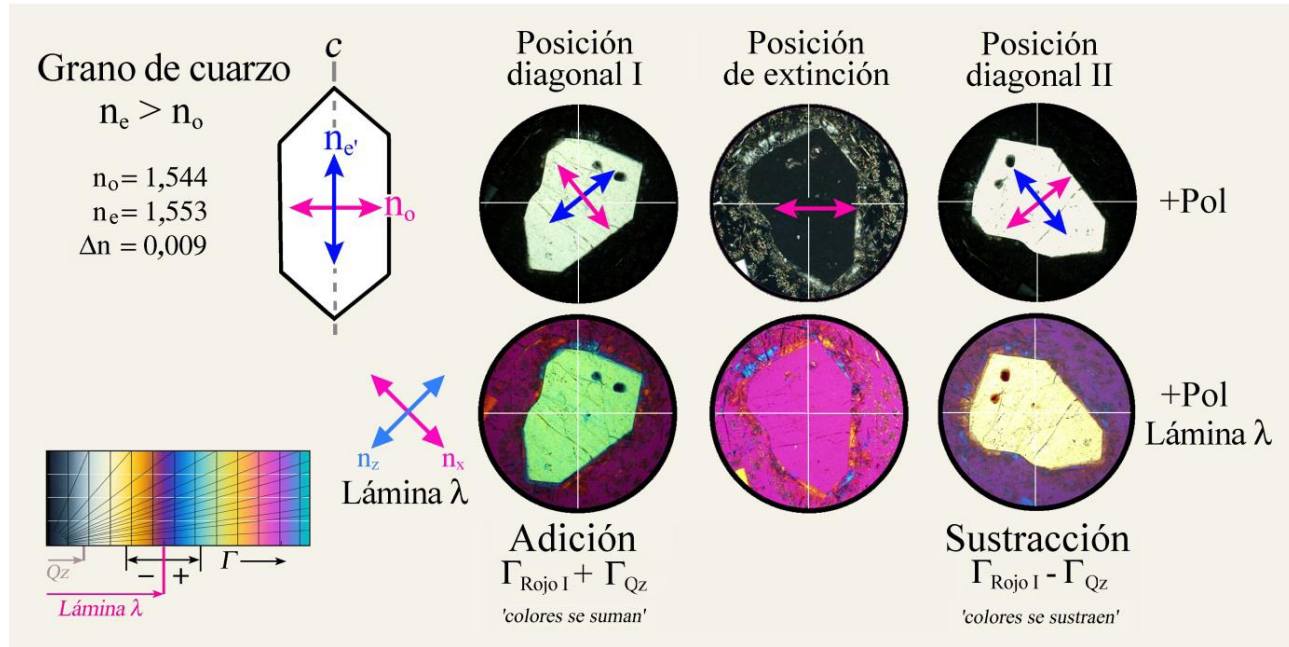


Figura 19: Alternancia de las posiciones de adición y sustracción cada 90°. Partiendo de un mineral de color de interferencia azul de 2.º orden (aproximadamente 550 nm), si insertamos el compensador de yeso (550 nm) al mineral, lo veremos verde en la posición de adición y gris oscuro en la de sustracción.



Adición y sustracción en las dos posiciones diagonales de un grano de cuarzo cortado oblicuo a su eje c. La onda E vibra paralela a c, por lo cual $n_e' = n_z$; la onda O vibra perpendicular a c, con $n_o = n_x$.

15. EXTINCIÓN: Si la partícula de mineral tiene forma (Caras de clivaje), tipo prismático o romboidal puede ocurrir que se produzca:

- Extinción recta o paralela: Es cuando la partícula prismática se extingue paralela al polarizador o analizador (son generalmente aquellos minerales que cristalizan en sistema tetragonal, hexagonal y ortorrómbico normal). Se completa el estudio determinando su **Elongación**.
- Extinción inclinada: Es cuando la partícula prismática se extingue inclinada al polarizador o analizador (son minerales que cristalizan en sistema monoclinico y triclinico). Se completa el estudio determinando el **Angulo de extinción**.
- Extinción simétrica: Es cuando la partícula de mineral tiene sus secciones en forma romboidal o cuadrada y se extinguen según sus diagonales. Figura20.

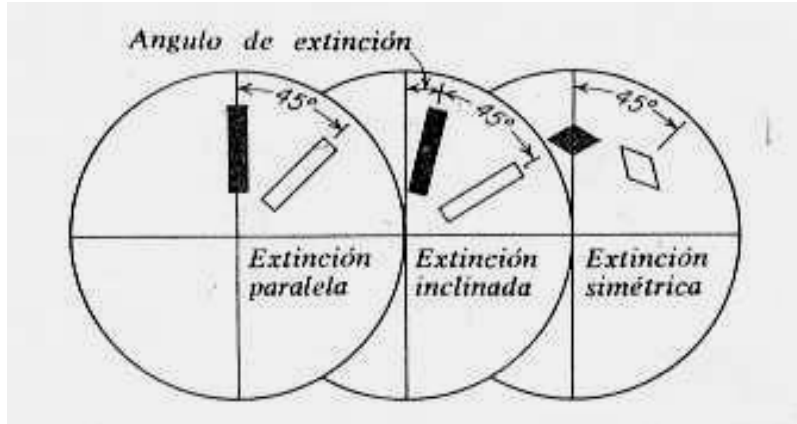
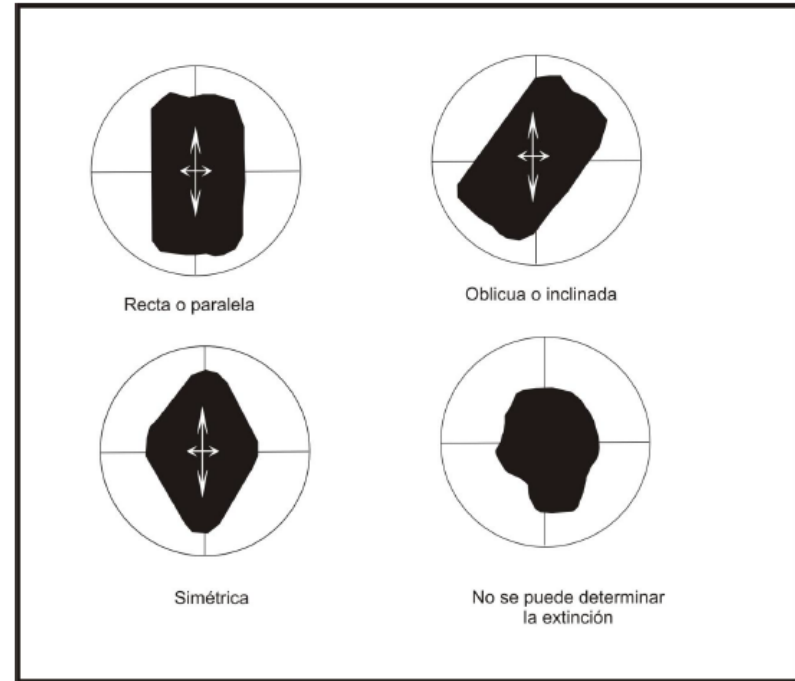


Figura 20: Tipos de Extinsiones



16. ELONGACIÓN: Para minerales que presentan extinción recta o paralela.

Metodología:

- Colocar en extinción. Dirección larga paralela al polarizador.
- Girar 45° en dirección a las agujas del reloj.
- Introducir la placa accesoria. Determinar la velocidad del rayo del mineral que coincide con el de la placa.
- Si se determina lento es (+); si se determina rápido es (-)

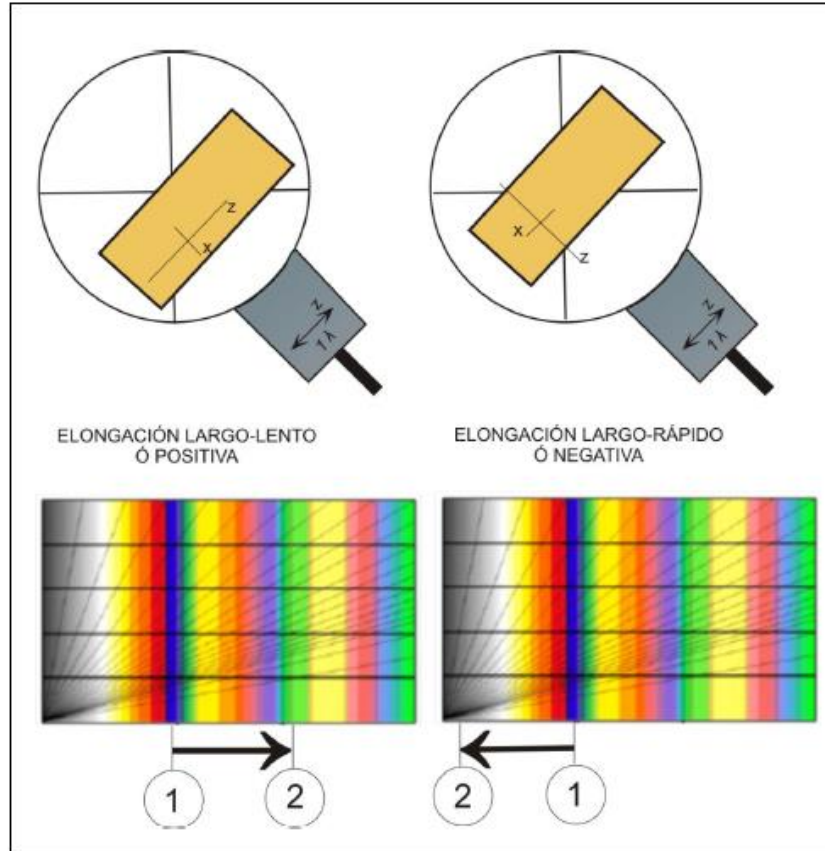
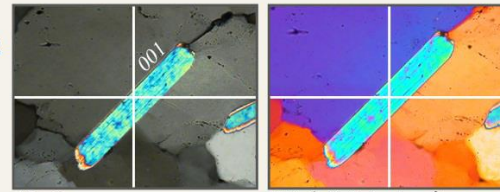
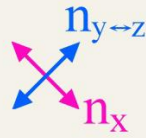


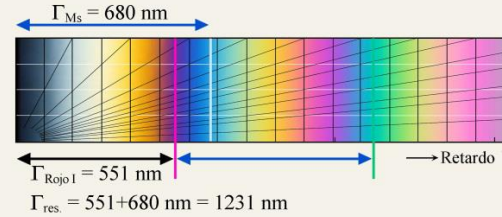
Figura: Elongación largo lento y largo rápido. Ejemplo

Muscovita
Sección \perp (001)
en posición diagonal NE-SW

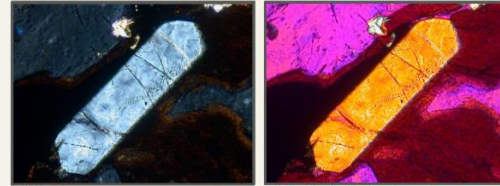
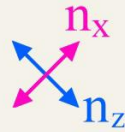


+Pol

+Pol & Lámina λ

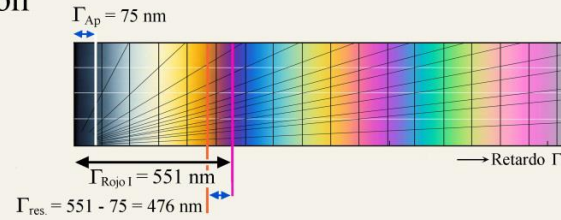


Apatito
Sección $\parallel c$
en posición diagonal NE-SW



+Pol

+Pol & Lámina λ



17. ANGULO DE EXTINCIÓN: para minerales que presentan extinción oblicua o inclinada se puede medir el ángulo de extinción de la siguiente manera:

Metodología:

- a. Colocar la dirección larga del cristal paralela al polarizador, leer el ángulo en la platina (L_1)
- b. Girar hasta extinción, leer el ángulo en la platina (L_2). ($L_2 - L_1 =$ ángulo extinción)
- c. Girar 45° (dirección agujas del reloj). $L_2 + 45^\circ$, máxima iluminación
- d. Introducir la placa accesoria. Determinar la velocidad del rayo del mineral que coincide con el de la placa.
- e. El ángulo medido ($L_2 - L_1$) es entre c y el rayo determinado (lento (Z) o rápido (X)).

18. MACLAS: Si dos o más cristales crecen conjuntamente de acuerdo con alguna ley de tal forma que ciertas direcciones reticulares sean paralelas, mientras otras estén en posición inversa forman lo que se denomina “macla o cristal geminado” este efecto se puede ver en el microscopio girando la platina 360° y observando si en la misma partícula se forman zonas claras y oscuras. Si se presenta este fenómeno hay maclas.

Ejemplo: Para diferenciar los feldespatos entre plagioclasas y ortoclasas, se pueden utilizar distintas propiedades entre las que se dispone las maclas, las plagioclasas presentan la macla polisintética o de la albita, mientras que la ortoclasa presenta las maclas de Karlsbald (ortosa), enrejado en forma de uso (microclino) y enrejado recto (sanidina).

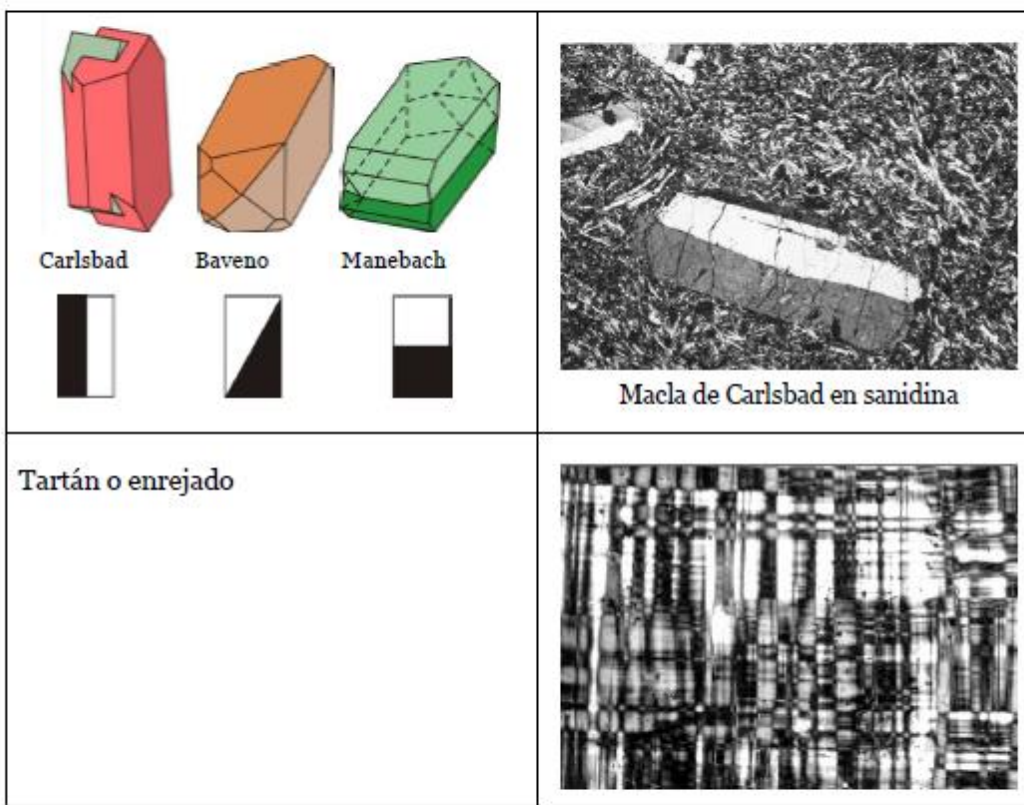


Figura: Maclas de los feldespatos